



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DEL
PAVIMENTO FLEXIBLE UTILIZANDO LA METODOLOGÍA
PCI Y LA VIGA BENKELMAN EN LA AV.
CONFRATERNIDAD EN EL PP JJ RICARDO PALMA EN LA
CIUDAD DE CHICLAYO**

**PRESENTADA POR
LINDA VANESSA LINARES SIESQUÉN**

**ASESOR
CÉSAR JIMENEZ RUIDIAS**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

LIMA - PERÚ

2021



CC BY-NC-ND

Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DEL
PAVIMENTO FLEXIBLE UTILIZANDO LA METODOLOGÍA PCI
Y LA VIGA BENKELMAN EN LA AV. CONFRATERNIDAD EN
EL PP JJ RICARDO PALMA EN LA CIUDAD DE CHICLAYO**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

LINARES SIESQUÉN, LINDA VANESSA

LIMA-PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mis padres, por inculcarme buenos valores, por su amor y apoyo incondicional durante el trayecto de mi formación.

A mi hermano, por guiarme para bien y apoyarme frente a las adversidades de la vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi asesor de tesis el Ing. César Jiménez, por brindarme la oportunidad de recurrir a sus enseñanzas y conocimientos, por la paciencia y guía durante el desarrollo de mi Tesis. Asimismo, a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres, por brindarme una formación de calidad.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Situación problemática	1
1.2 Definición del problema	3
1.3 Formulación del problema	6
1.4 Objetivos	6
1.5 Importancia de la investigación	7
1.6 Limitaciones	9
1.7 Viabilidad	10
1.8 Impacto potencial	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	12
2.1 Antecedentes de la investigación	12
2.2 Bases teóricas	17
2.3 Marco Conceptual	42
2.4 Hipótesis	44
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	45

3.1. Tipo de investigación	45
3.2 Nivel de investigación	45
3.3 Diseño de la investigación	46
3.4 Variables	46
3.5 Población y muestra	48
3.6 Recolección de datos	48
3.7 Instrumentos de recolección de datos	49
3.8 Técnicas de procesamiento de datos	49
3.9 Instrumentos de Procesamiento de Datos	49
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL PROYECTO	50
4.1 Ubicación del Proyecto	50
4.2 Identificación de daños existentes en la vía.	53
CAPÍTULO V. RESULTADOS	77
5.1 Estado de conservación vial	77
5.2 Uso de la Viga Benkelman	90
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	102
6.1 Discusión de Antecedentes	102
6.2 Discusión de hipótesis	105
CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	110
FUENTES DE INFORMACIÓN	111
ANEXOS	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vías pavimentadas por clasificación hasta el 2019.	2
Figura 2. Causas de defectos en los pavimentos.	3
Figura 3. Efectos de niño costero en Chiclayo.	4
Figura 4. Pistas deterioradas en la Ciudad de Chiclayo.	5
Figura 5. Portada de Software Evalpav.	34
Figura 6. Evaluación estructural del pavimento Viga Benkelman.	37
Figura 7. Nomograma 1 D_r/D_o vs R.	41
Figura 8. Nomograma 2 D_0*E_o vs D_r*D_o*Lo .	41
Figura 9. Ubicación de la Av. Confraternidad.	51
Figura 10. Calzada Derecha de La Av. Confraternidad.	52
Figura 11. Calzada Izquierda de La Av. Confraternidad.	52
Figura 12. Formato de Evaluación PCI.	57
Figura 13. Paso 1 para usar Evalpav.	59
Figura 14. Entrada de Evalpav.	59
Figura 15. Resultado de Evalpav por muestra.	60
Figura 16. Ubicación del punto de evaluación.	64
Figura 17. Uso del Nomograma 1 D_r/D_o vs R para $H/Lo=10$.	68
Figura 18. Uso del Nomograma 2 D_r/D_o vs R para $H/Lo=20$.	69
Figura 19. Aplicación del 2do Nomograma.	73
Figura 20. Nomograma $R=70$.	73
Figura 21. Gráfica de datos obtenidos (PCI) para la calzada derecha.	78
Figura 22. Gráfica de datos obtenidos por método PCI para la calzada izquierda.	80

Figura 23. Piel de cocodrilo en (PR 0+000 – PR 0+600).	81
Figura 24. Exudación en (PR 0+000 – PR 0+600).	82
Figura 25. Agrietamiento en Bloque en (PR 0+000 – PR 0+600).	82
Figura 26. Abultamiento y hundimientos en (PR 0+000 – PR 0+600).	83
Figura 27. Corrugación en (PR 0+000 – PR 0+600).	83
Figura 28. Depresión en (PR 0+000 – PR 0+600).	84
Figura 29. Grieta de borde en (PR 0+000 – PR 0+600).	84
Figura 30. Grieta de reflexión de junta en (PR 0+000 – PR 0+600).	85
Figura 31. Desnivel carril berma en (PR 0+000 – PR 0+600).	85
Figura 32. Grietas longitudinales y transversales en (PR 0+000 – PR 0+600).	86
Figura 33. Parcheo en (PR 0+000 – PR 0+600).	86
Figura 34. Pulimiento de agregados en (PR 0+000 – PR 0+600).	87
Figura 35. Huecos en (PR 0+000 – PR 0+600).	87
Figura 36. Cruce de Vía Férrea en (PR 0+000 – PR 0+600).	88
Figura 37. Ahuellamiento en (PR 0+000 – PR 0+600).	88
Figura 38. Desplazamiento en (PR 0+000 – PR 0+600).	89
Figura 39. Grietas parabólicas en (PR 0+000 – PR 0+600).	89
Figura 40. Hinchamiento en (PR 0+000 – PR 0+600).	90
Figura 41. Desprendimiento de agregados en (PR 0+000 – PR 0+600).	90
Figura 42. Diagrama de Lecturas de campo.	91
Figura 43. Diagrama de Deflexiones.	92
Figura 44. Diagrama de deflexiones corregidas por temperatura.	93
Figura 45. Diagrama de Longitud Característica para R =25.	95
Figura 46. Barras de Longitud Característica para R =25.	95
Figura 47. Longitud Característica para R=40.	96
Figura 48. Diagrama Longitud Característica para R=40.	97

Figura 49. Diagrama de Longitud Característica $R=70$.	98
Figura 50. Longitud Característica para $R=70$.	98
Figura 51. Diagrama de Barras de módulo de Elasticidad.	99
Figura 52. Diagrama de módulo de Elasticidad.	100
Figura 53. CBR por cada punto de lectura.	100
Figura 54. Porcentaje de fallas halladas.	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de Calificación PCI.	19
Tabla 2. Longitudes de Unidades de Muestreo.	19
Tabla 3. Niveles de severidad piel de cocodrilo.	20
Tabla 4. Niveles de severidad exudación.	21
Tabla 5. Niveles de severidad agrietamiento en bloque.	22
Tabla 6. Niveles de severidad abultamientos y hundimientos.	22
Tabla 7. Niveles de severidad corrugación.	23
Tabla 8. Niveles de severidad depresión.	24
Tabla 9. Niveles de severidad grieta de borde.	24
Tabla 10. Niveles de severidad grieta de reflexión de junta.	25
Tabla 11. Niveles de severidad desnivel carril/berma.	26
Tabla 12. Niveles de severidad grietas longitudinales y transversales.	
	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 13. Niveles de severidad parcheo.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 14. Niveles de severidad para huecos.	29
Tabla 15. Niveles de severidad cruce de vía férrea.	30
Tabla 16. Niveles de severidad ahuellamiento.	30
Tabla 17. Niveles de severidad desplazamiento.	31
Tabla 18. Niveles de severidad grietas parabólicas.	32
Tabla 19. Niveles de severidad hinchamiento.	32

Tabla 20. Niveles de severidad desprendimiento de agregados.	33
Tabla 21. Distancias indicadas.	39
Tabla 22. Clasificación por valor de CBR.	44
Tabla 23. Esquematización de variable dependiente. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 24. Esquematización de variable independiente.	48
Tabla 25. Longitud de muestra según ancho de Calzada.	53
Tabla 26. Progresivas para muestreo de PCI.	55
Tabla 27. Extensión de muestras por carril.	56
Tabla 28. Hoja de cálculo para exportar a Evalpav.	58
Tabla 29. Datos de PCI de muestras.	60
Tabla 30. Resumen de PCI de Calzada Derecha.	61
Tabla 31. Resumen de PCI de Calzada Izquierda.	61
Tabla 32. Clasificación de la muestra a través del PCI.	62
Tabla 33. Características de la Viga Benkelman referencial.	63
Tabla 34. Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento.	63
Tabla 35. Lecturas referenciales del ensayo de la Viga Benkelman.	64
Tabla 36. Deflexiones halladas.	65
Tabla 37. Deflexiones corregidas.	66
Tabla 38. Resultado de la Longitud Característica promedio en R=25.	70
Tabla 39. Resultado de la Longitud Característica promedio en R=40.	70
Tabla 40. Resultado de la Longitud Característica promedio en R=70.	71
Tabla 41. Elección de relaciones Dr/Do cercanos a 0.5.	71
Tabla 42. Do, Dr y Lo seleccionados para el nomograma 2.	72
Tabla 43. Resultados de Eo.	74
Tabla 44. Resultados CBR.	75
Tabla 45. Clasificación de Resultados.	76

Tabla 46. Resumen de datos obtenidos por método PCI para la Calzada Derecha.	77
Tabla 47. Índice de condición del pavimento en la Calzada Derecha.	78
Tabla 48. Resumen de datos obtenidos por método PCI para la Calzada Izquierda.	79
Tabla 49. Índice de condición del pavimento en la Calzada Izquierda.	79
Tabla 50. Índice de condición del pavimento en la Calzada Derecha e Izquierda.	81
Tabla 51. Lecturas de Viga Benkelman 25,40 y 70 cm.	91
Tabla 52. Deflexiones medidas a 25; 40 y 70 cm.	92
Tabla 53. Deflexiones corregidas por temperatura.	93
Tabla 54. Longitud Característica promedio para R=25.	94
Tabla 55. Longitud Característica promedio para R=40.	96
Tabla 56. Longitud característica para R=70 cm.	97
Tabla 57. Módulo de Elasticidad de la subrasante (Esg).	99
Tabla 58. Clasificación de la subrasante por CBR.	101
Tabla 59. Extensión de fallas.	107

RESUMEN

En la presente investigación, se propone evaluar y realizar un diagnóstico del estado del pavimento flexible y aplicar la metodología PCI y el ensayo de la Viga Benkelman en la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma, en la ciudad de Chiclayo, con miras a un mejoramiento y rehabilitación de la red vial. Por ello, se identificaron los tipos de fallas, severidad y extensión de cada unidad de muestreo en el pavimento, mediante la inspección visual. Se realizaron la recolección y descripción de datos con el formato de evaluación PCI y el manual de la metodología PCI. Después se procesaron los datos de cada unidad de muestreo, a través del uso del software EvalPav, con el fin de hallar el PCI de cada calzada, que permitiera un procesamiento de información en menor tiempo. Para la aplicación del ensayo de la Viga Benkelman, se emplearon datos referenciales, trabajándose con 6 puntos por cada calzada, que dieron un total de 12 puntos de muestra. Se hallaron las deflexiones, con los datos obtenidos, se calculó la Longitud Característica y el valor del CBR, mediante el modelo matemático Hogg y el uso de nomogramas, a fin de conocer el estado estructural del pavimento. Al utilizar los dos métodos mencionados, se obtuvo como resultados un PCI de 26 y un CBR de 10% que, según la clasificación del MTC es un pavimento regular. Como conclusión, para obtener un mejoramiento adecuado del pavimento es necesario conocer el estado en el que se encuentra, tanto superficial como estructural. Para ello, existen muchos métodos como el de Índice de Condición de Pavimento (PCI) y el ensayo de la Viga Benkelman.

Palabras clave: Evaluación del pavimento, índice de condición del pavimento, CBR, Viga Benkelman, PCI, EvalPav.

ABSTRACT

In the present investigation, it is proposed to evaluate and make a diagnosis of the condition of the flexible pavement and apply the PCI methodology and the Benkelman Beam test on Confraternidad Avenue at the PP JJ Ricardo Palma, in the city of Chiclayo, with a view to improving and rehabilitating the road network. For this reason, the types of faults, severity, and extent of each sample unit on the pavement were identified by visual inspection. Data collection and description were performed using the PCI evaluation format and the PCI methodology manual. Afterwards, the data of each sample unit were processed, using EvalPav software, to find the PCI of each roadway, which would allow information processing in less time. For the application of the Benkelman Beam test, reference data were used, working with 6 points for each roadway, which gave a total of 12 sample points. The deflections were found with the data obtained, the Characteristic Length and the CBR value were calculated by means of the Hogg mathematical model and the use of nomograms, to know the structural condition of the pavement. By using the two methods mentioned above, the results obtained were a PCI of 26 and a CBR of 10 %, which, according to the MTC classification, is a regular pavement. In conclusion, to obtain an adequate pavement improvement, it is necessary to know the condition of the pavement, both superficial and structural. For this purpose, there are many methods such as the Pavement Condition Index (PCI) and the Benkelman Beam test.

Keywords: Pavement evaluation, pavement condition index, CBR, Benkelman Beam, PCI, EvalPav.

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos conforman uno de los elementos fundamentales de una obra de infraestructura vial. Sin embargo, en la mayoría de los casos, no posee un mantenimiento adecuado durante su vida útil, causando así inconvenientes tanto para los peatones y conductores.

En el departamento de Lambayeque, la red vial, presenta un estado deficiente de pavimento flexible, por lo que es necesario una evaluación del mismo, de manera anticipada para un posterior mejoramiento de la red vial.

La presente tesis cuyo título es Evaluación y diagnóstico del estado del pavimento flexible utilizando la metodología PCI y la viga Benkelman en la Av. Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en la ciudad de Chiclayo. Se encuentra conformada por seis (6) capítulos. El primero abarca la situación problemática, objetivos, justificación del estudio e importancia, alcances y limitaciones del estudio. El segundo contiene antecedentes de la investigación, fundamento teórico y estudio de las clases de fallas en los pavimentos flexibles y su nivel de severidad, ensayo de la Viga Benkelman y el software EvalPav. En el tercero, se presenta la metodología empleada en la investigación, operacionalización de las variables, dependiente e independiente y técnicas de investigación. En el cuarto, se explica sobre la aplicación del método de Índice de Condición de Pavimento (PCI) y el ensayo de la Viga Benkelman. En el quinto, se muestra el análisis de la evaluación del pavimento flexible mediante tablas y diagramas. En el sexto capítulo, se realiza el análisis de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

La infraestructura vial es clave primordial para el progreso socioeconómico de una región, siendo la estructura del pavimento parte importante, ofrece a la sociedad una superficie de rodadura segura; sin embargo, posee un límite en su periodo de diseño, la misma que al culminar será previsto el inicio de su deterioro.

Las obras de infraestructura vial después de su construcción suelen presentar una variedad infinita de fallas superficiales, por lo que surge la necesidad de efectuar un buen mantenimiento y rehabilitación vial, reduciendo los perjuicios que se presenten durante el tiempo de servicio del pavimento (Humpiri, 2015).

Perú es una de las naciones a nivel mundial donde uno de los problemas predominantes está relacionado con el transporte. Si bien es cierto podemos hablar de la informalidad de los mismos usuarios, un problema mucho mayor desde una posición socioeconómica e ingenieril, es la cantidad de vías pavimentadas en mal estado o accesos sin pavimentar, convergiendo en problemas de congestión vehicular, accidentes de tránsito, entre otros.

El Perú se encuentra ubicado en el puesto 102 de 133 países evaluados en calidad de infraestructura vial mundial. (Vergara, 2015). Esta clasificación cuantitativa informa acerca de la imprevisión de los gobiernos locales con

respecto al mantenimiento de los pavimentos. Como resultado de esta problemática se muestra la Figura 1, la cual describe que dentro de un 100% de los tres tipos de Redes Viales del Sistema Nacional de Carreteras, solo se conserva un porcentaje regular de carreteras pavimentadas. La red vial nacional cuenta con un 72% de vías pavimentadas, que presenta un mayor porcentaje frente a la Red Departamental con el 13% y la red vecinal con el 5%.

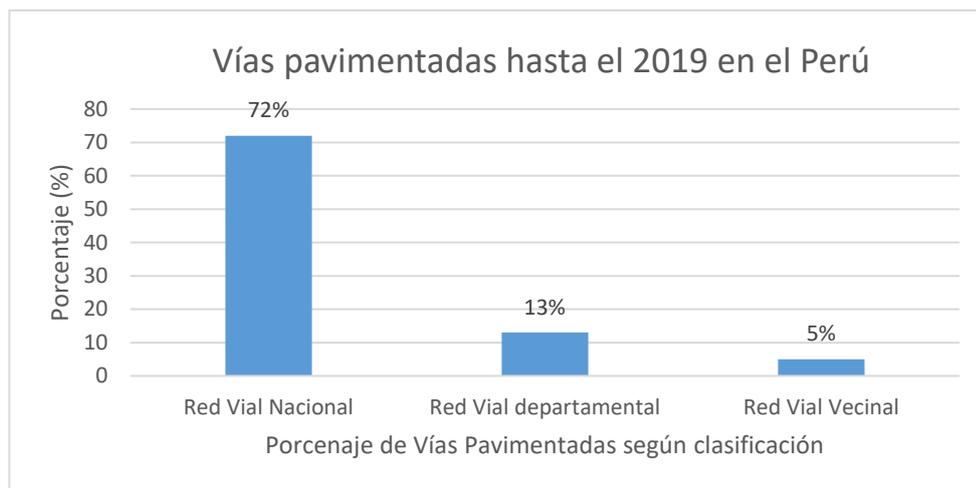


Figura 1. Vías pavimentadas por clasificación hasta el 2019.

Elaboración: La autora.

Otra realidad que predomina en el país, la cual se expone anteriormente, es que las vías pavimentadas poseen una condición crítica, presentando una cantidad considerable de fallas por diferentes causas, entre muchas de estas tenemos:

Alcantarillado: Un mal proceso constructivo o inadecuado mantenimiento produce que el pavimento se exponga a grandes cargas de agua y desechos, como consecuencia se debilita estructuralmente el pavimento.

Tiempo de vida útil superado: Muchas de las vías en el país superaron su tiempo de vida útil y en su mayoría, llegaron a destruirse completamente.

Alto tránsito vehicular: Este factor es el que más deformaciones causa en el pavimento, ya que al superar la carga permisible para la cual fue diseñada el pavimento, no resiste y simplemente colapsa.

Factores climáticos: Debido al ciclo de temperatura diario, el pavimento suele agrietarse y perder su estructura inicial. Cabe resaltar que el pavimento también sufre cambios debidos a la temperatura.

Deficiente mantenimiento: En la mayoría de las carreteras del país el rol de mantenimiento es asignado a las autoridades locales como gobiernos locales, las cuales no son realizadas a tiempo, reduciendo la vida útil del pavimento y deteriorándose por completo.

Asimismo, se considera la deficiencia de aprovisionamiento de materiales, los cuales son remplazados por materiales de menor calidad.



Figura 2. Causas de defectos en los pavimentos.

Elaboración: La autora.

1.2 Definición del problema

Chiclayo, una de las ciudades al norte del país situada en el departamento de Lambayeque, con fecha de fundación el año 1720, cuenta con una extensión total de 174.46 km² y una población total de 891,000 habitantes, lo que representa que el 2.3% de población nacional se encuentra en esta ciudad.

Este dato es significativo, ya que la cantidad de vías en esta localidad es extensa, sin embargo, según el portal del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el D.S. N° 012-2013-MTC (2013), en el departamento de

Lambayeque de un total de 523.9 km de vías existentes, solamente 212.0 km se encuentran pavimentadas.

Sin embargo, esa no es la única problemática que afronta esta zona del Perú, ya que mayormente las vías pavimentadas se hallan en un estado deficiente; un informe de Radio Programas del Perú (2017) indicó que, el 95% de las redes viales de Chiclayo fueron azotadas por las intensas lluvias del fenómeno del Niño Costero.

Han transcurrido aproximadamente 4 años desde las primeras lluvias del Niño Costero que asolaron el norte del país, en la que la ciudad de Lambayeque fue afectada por las lluvias que inundaron las redes viales de la ciudad, dejando un panorama de destrucción. Esta problemática persiste en la actualidad debido a que los gobiernos locales no emplean las herramientas adecuadas para mitigar y dar solución a esta problemática que perjudica tanto a conductores como a transeúntes de la zona.



Figura 3. Efectos de niño costero en Chiclayo.

Fuente: Seminario Expresión (2019).

En realidad, las redes viales de la Ciudad de Chiclayo lucen deterioradas, se estima que el 70% de las redes viales se encuentran en un estado deficiente hasta la fecha. Un reportaje del Diario Correo (2018) expresa a través de una infografía que, en muchos lugares de la ciudad de Chiclayo existen baches y huecos, como se ve muestra en la Figura 4.

Según informe, La Municipalidad Provincial de Chiclayo recibe 30 millones de soles para trabajos de construcción, sin embargo, esto es ineficiente ya

que se sigue contando con pistas y veredas que presentan deficiencia a nivel de infraestructura vial.



Figura 4. Pistas deterioradas en la Ciudad de Chiclayo.

Fuente: Diario Correo (2018).

Entre las avenidas existentes de la ciudad de Chiclayo, que cuentan con un estado deficiente se encuentra la avenida Confraternidad, ubicada en el Pueblo Joven de Ricardo Palma, la cual presenta un pavimento deficiente que afecta desde el aumento de tiempos de recorridos, aumento de gastos de combustible, desgaste de neumáticos de los vehículos; y socialmente afecta la confiabilidad y la salvaguardia de los ciudadanos del pueblo joven ; por lo que aplicando la metodología PCI, se pretende evaluar e identificar las fallas posibles y deterioros existentes en la avenida que servirá como información para el mantenimiento y rehabilitación de esta avenida.

Con una extensión total de 600 metros lineales esta avenida bordea toda la zona exterior del estadio Elías Aguirre.

Por consiguiente, la presente tesis plantea, en primer lugar, conocer el estado superficial y estructural del pavimento flexible de la avenida Confraternidad, mediante el uso de la metodología PCI y el ensayo de la Viga Benkelman y así brindar una propuesta de rehabilitación y/o mantenimiento mediante el conocimiento del estado superficial y estructural de la avenida, tanto de conservación como mediante las deflexiones encontradas en el pavimento.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general:

- ¿De qué manera se puede evaluar y diagnosticar el estado del pavimento flexible en la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en la Ciudad de Chiclayo?

1.3.2 Problemas específicos:

- ¿En qué medida el registro de daños mediante la metodología PCI favorece en hallar el estado de conservación del pavimento flexible en la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma En Chiclayo?
- ¿En qué medida incide el análisis de los resultados de la Viga Benkelman para conocer el estado del pavimento flexible en la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma En Chiclayo?
- ¿En qué grado incide el conocer el estado de la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en Chiclayo?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general:

- Evaluar y diagnosticar el estado del pavimento flexible mediante la aplicación de la metodología PCI y el ensayo de la Viga Benkelman en la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en la Ciudad de Chiclayo.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Realizar un registro de daños mediante la metodología PCI con el fin de hallar el estado de conservación del pavimento flexible en la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en la ciudad de Chiclayo.
- Analizar los resultados del ensayo de la viga Benkelman permitirá conocer el estado del pavimento flexible en la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en Chiclayo.
- Realizar una propuesta de rehabilitación mediante el conocimiento del estado del pavimento flexible de la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en la Ciudad de Chiclayo.

1.5 Importancia de la investigación

Este proyecto se divide en 4 importantes componentes: ámbito social, económico, técnico y ambiental.

a. Importancia social

La deficiente condición del pavimento flexible de la av. Confraternidad-Chiclayo, trae consigo la pérdida de estabilidad vehicular por altas velocidades, dificultades y deterioros en el vehículo y posibles accidentes de tránsito, generando en la población desconfianza e inseguridad.

Se afirma que, tiene una importancia social debido a que la propuesta de mejoramiento de la avenida ayudará en la mejora de la serviciabilidad del pavimento e imagen de la zona, beneficiando directamente a la población, así como al tránsito peatonal y vehicular, aumentará la accesibilidad de la zona, y se reducirá los indicios de peligro.

b. Importancia económica

El estado deficiente del pavimento flexible de la av. Confraternidad-Chiclayo, ocasiona el tránsito vehicular a una velocidad baja; la pérdida de vida útil del parque automotor; desgaste de los sistemas de suspensión, amortiguación y neumáticos de los vehículos; aumento del consumo de combustible; y perjuicios económicos.

El desarrollar este estudio, permitirá que se realicen trabajos de mitigación para mejorar la circulación vehicular y peatonal de la avenida, conservar la vida útil de los vehículos, ahorro económico en combustible, establecer una necesidad de mantenimiento y proponer soluciones con respecto al pavimento.

c. Importancia técnica

La actual condición del pavimento en la av. Confraternidad representa la oportunidad para realizar estudios que impliquen evaluar y diagnosticar el estado actual de los pavimentos. La tesis presente se basa en aplicar dos metodologías, el ensayo de la Viga Benkelman y la metodología PCI. La evaluación estructural empleando la Viga Benkelman es una de las herramientas que permite encontrar de manera sencilla el estado del pavimento, se encuentra al alcance de los gobiernos locales y es de fácil empleo; tiene un costo de adquisición menor comparado con otras herramientas como el FWD (Falling Weight Deflectometer).

Asimismo, la evaluación estructural empleando la metodología PCI, permite que se conozca en qué estado de conservación se encuentra el pavimento, de bajo costo, de fácil empleo, estipulada en manuales de fácil entendimiento; y si apoyado a ello se emplea el software EvalPav, se obtienen datos exactos y en menor tiempo. Por tal motivo la importancia técnica radica en aplicar las metodologías mencionadas en la ciudad de Chiclayo, que implique que este estudio sea empleado en zonas aledañas de la ciudad de Chiclayo, masificando el uso; las cuales sean repetidas en otras investigaciones y gobiernos locales.

d. Importancia ambiental

El estado deficiente de la avenida Confraternidad –Chiclayo, acrecienta el consumo de combustible y reduce la vida útil de los vehículos; un pavimento en un estado deficiente supone además un aumento en la emisión de gases del efecto invernadero y por ende un aumento de contaminación atmosférica y riesgos para la salud.

Por ello, es indispensable realizar un estudio del estado superficial y estructural del pavimento flexible en la Av. Confraternidad-Chiclayo, aplicando la metodología PCI y el ensayo de la Viga Benkelman, métodos confiables para el diagnóstico del pavimento, que posteriormente servirá de data para posibles soluciones y mantenimiento de la infraestructura vial.

1.6 Limitaciones

Las limitaciones que encontramos en este proyecto de investigación fueron las siguientes:

- El número de vehículos que circula por esta zona. Al ser una avenida, existe un tránsito vehicular medio-alto, lo cual ocasiona que el tiempo para la toma de muestras sea mayor. Por lo cual se realizó un reconocimiento de las horas estratégicas de circulación del tránsito vehicular con el fin de aprovechar tiempo y recursos.
- La falta de información fue una limitación, ya que la Municipalidad Provincial de Chiclayo no contaba con el expediente técnico de esta avenida, lo cual retrasó el tiempo de investigación además de detalles.
- Una de las limitaciones que no se contemplaban al momento de comenzar esta tesis fue la pandemia mundial del Covid-19, representando un riesgo la salud y bienestar; esta situación limitó al momento de realizar la toma de muestras del pavimento; además el distanciamiento social que se decretó fue difícil contar con el apoyo de personal técnico.
- La situación actual del Covid-19, además de representar una amenaza para la salud, generó inestabilidad económica; por lo que se desistió de adquirir el servicio de alquiler de la Viga Benkelman, del cual el costo era

elevado, tomándose datos referenciales para este ensayo, los cuales se adaptaron para ser procesados y continuar con el desarrollo del proyecto de investigación.

1.7 Viabilidad

1.7.1 Viabilidad técnica

Es completamente viable ya que para desarrollarlo técnicamente se cuenta con toda la información necesaria, manuales, materiales y herramientas: Manual de Carreteras, Mantenimiento o Conservación Vial; Manual de Ensayo de Materiales, el cual especifica el procedimiento para hallar las deflexiones a través del uso de la Viga Benkelman; Manual del usuario EvalPav, que permite conocer la operatividad del software EvalPav para procesar las muestras tomadas en campo ; y Manual de la Metodología PCI, que permite conocer el tipo, severidad y extensión de las fallas incidentes en el pavimento; asimismo de otros implementos necesarios como son los EPP, las herramientas de medición en campo, etc.

1.7.2 Viabilidad social

La propuesta es viable ya que esto significa un avance para la sociedad, teniendo en cuenta que afecta directamente a los conductores y peatones, los cuales se verán beneficiados en gran medida ; además se define la viabilidad social por motivo de que la Gerencia de Infraestructura Pública de la Municipalidad Provincial de Chiclayo, brinda el apoyo necesario y aprueba que se realice el presente estudio, la cual se beneficia directamente por la reducción de gastos en su presupuesto, el mismo que puede ser destinado a otro lugar con mayor necesidad; añadido a ello, el desarrollar este estudio permitirá que se masifique en las zonas aledañas .

1.8 Impacto potencial

1.8.1 Impacto teórico

Se conocerá el estado de conservación y las deflexiones actuales del pavimento de toda la avenida en muestra.

Las autoridades competentes, siendo el caso de la Municipalidad Provincial de Chiclayo contará con un banco de información nuevo, donde se encontrarán las fallas existentes en la vía, el cual permitirá una mejor toma de decisión en lo que respecta a rehabilitación y/o mantenimiento de la vía.

1.8.2 Impacto práctico

El impacto práctico de la presente investigación brinda un gran beneficio a la autora de la tesis, ya que el estudio aborda una problemática referida a la infraestructura vial, la cual es fundamental para adquirir conocimiento a través de la investigación y para el desenvolvimiento en el ámbito laboral.

Además, el impacto que proporcionará la presente investigación ayudará directamente a otros investigadores, ya que será una guía para la aplicación de las metodologías descritas en la investigación en otro estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Se tomó como referencia investigaciones nacionales e internacionales que tienen relación con los objetivos de estudio de la presente tesis.

2.1.1 Antecedentes Nacionales

En Perú se han realizado diversas investigaciones similares con el fin de diagnosticar superficial y estructuralmente el pavimento. A continuación, se exponen algunas investigaciones relacionadas con la presente tesis.

Rivas & Vargas (2017). La investigación titulada “Aplicación de la metodología PCI para minimizar costos y tiempo en la rehabilitación del pavimento de la avenida Domingo Orué Surquillo – Lima”, tuvo como fin la aplicación del método PCI para rehabilitar y mejorar la avenida Domingo Orué de Surquillo, logrando con ello reducir costo y tiempo. Para ello, realizó una inspección visual y previa, pasmando la información en formatos de evaluación, lo cual sirvió para obtener el Índice de condición del pavimento. Finalmente, empleando la metodología, se concluye la existencia de 9 tipos de fallas en pavimento flexible y 7 tipos de fallas en pavimentos rígidos, según el Índice de condición del pavimento hallado en cada muestra de la vía se detalla que, el estado de conservación es malo, presentándose técnicas de rehabilitación para cada tipo de falla hallado.

Zevallos (2017). Tesis denominada “Identificación y Evaluación de las fallas superficiales en los pavimentos flexibles de algunas vías de la ciudad de Barranca – 2017”, que considera como objetivo principal la identificación y evaluación del estado de conservación del pavimento flexible de las vías del cercado de la ciudad de Barranca mediante el método PCI y tomando como muestra la avenida José Gálvez Barrenechea. Se aplicaron técnicas e instrumentos para la obtención de datos como la inspección visual, hojas de registro, manual de daños PCI con sus respectivos formatos para cada tipo de falla existente. Finalmente, Zevallos concluye que la metodología PCI es de las más eficientes metodologías para evaluar pavimentos flexibles y rígidos. Asimismo, de acuerdo a los datos obtenidos y analizados, la avenida José Gálvez Barrenechea tuvo un índice de rangos 47 y 49, con ello se demuestra que el estado de conservación del pavimento es regular.

Solís & Vallejos (2019). “Estudio y evaluación del pavimento flexible ubicado en la Av. Chinchaysuyo del tramo del paseo Yortuque empleando el método PCI y propuesta de rehabilitación del pavimento flexible”, el autor propuso determinar la condición en la que se encuentra el pavimento flexible de la avenida Chinchaysuyo del intervalo Paseo Yortuque, distrito de La Victoria mediante la aplicación del método PCI, con el fin de sugerir una solución óptima. Para desarrollar esta investigación se trabajó en la recopilación de información de 90 unidades de muestra (extensión asfáltica) mediante formatos estipulados en la Norma ASTM D5340, siguiendo el procedimiento del método del Índice de Condición del Pavimento en pavimentos flexibles. Las 90 unidades de muestra inspeccionadas tuvieron un área de 221 m² cada una; en los resultados del estado de conservación de la avenida Chinchaysuyo, específicamente del Paseo Yortuque, se tuvo un resultado de 76 con respecto al promedio de las muestras evaluadas. De acuerdo al índice hallado en el rango de PCI, se clasificó al pavimento de la avenida Chinchaysuyo en un estado de conservación muy bueno. De esta evaluación, las fallas más recurrentes en todas muestras fueron: desintegración y disgregación (32.9 %), baches (16.2%), huecos (17.3 %), piel de cocodrilo (8.7 %) y grietas longitudinales y transversales (9.7%).

Carbajal (2018). Tesis denominada “Aplicación del método PCI para evaluar las condiciones de la superficie del pavimento rígido en la avenida Chiclayo, José Leonardo Ortiz”. El autor plantea como objetivo general estimar el estado actual del pavimento rígido en la Avenida Chiclayo, Distrito de José Leonardo Ortiz a través del uso del Método PCI, se evaluaron 12 unidades de muestra en el tramo de la Avenida Chiclayo utilizando el manual y la metodología PCI para pavimentos rígidos. La investigación a través del método PCI, determinó 69 unidades de losa a inspeccionar en 5820 metros longitudinales de la avenida; con un área de 462 m² cada unidad de muestra. Las fallas más recurrentes de la investigación fueron las siguientes: descascaramiento de juntas, pulimiento de agregados, parche pequeño, parche grande, grieta lineal, losa dividida, grieta de esquina. El valor de rango PCI hallado en el Kilómetro 1 (Regular) fue de 52.63, de 53.63 en el kilómetro 2 (Regular), de 54.88 en el kilómetro 3 (Regular), de 40.80 en el kilómetro 4 (Regular – Malo) , de 49.41 y 46.21 en los kilómetro 5 y 6 (Regular). Se concluyó con la evaluación del pavimento rígido aplicando el método PCI, que es necesario el sellado de juntas y fisuras, restauración del ancho neto de la losa y el pulido en toda la extensión de la losa.

Balarezo (2017). “Evaluación estructural usando la Viga Benkelman aplicada a un pavimento”, sostiene como principal propósito el conocer el uso de la Viga Benkelman, para que sea la primera herramienta para un futuro plan de evaluación, con el fin de proponer un proyecto de mantenimiento para gobiernos locales, además otro objetivo fue el dar a conocer los parámetros de evaluación como es el módulo de Elasticidad y el CBR, para así poder clasificar el pavimento según el MTC. La tesis combinó 2 diferentes métodos para hallar el estado estructural del pavimento, por un lugar usó nomogramas mejorados en el software MatLab para hallar los parámetros solamente usando curvas y por otro lado utilizó la forma matemática para hallar los mismos. Luego de calcular el estado del pavimento mediante el CBR, propuso formas de mejorar el pavimento con el fin de mitigar los daños que pueden albergarse en el pavimento. En sus conclusiones, declara que para el procesamiento de datos de las deflexiones es importante realizarlo bajo dos

métodos, además esta detalla la importancia de la Viga Benkelman y de su uso.

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Tabares & Lozano (2005), Tesis denominada “Diagnóstico de vía existente y diseño del pavimento flexible de la vía nueva mediante parámetros obtenidos del estudio en fase I de la vía acceso al barrio ciudadela del café-vía La Badea”, detalla como objetivo general especificar la condición en que se halla el pavimento flexible aplicando la metodología PCI y el VIZIR; y diseñar el pavimento flexible. Se concluye que la vía se encuentra en excelente condición, según la metodología PCI aplicada, sin embargo, hubo presencia de fallas mínimas.

Lizárraga (2013). “Diseño y Construcción de Pavimentos Flexibles Aplicando Geomallas de Polipropileno como Sistema de Reforzamiento Estructural”, la cual tiene como objetivo justificar que la presencia de geomallas biaxiales de polipropileno mejora y optimiza los espesores de diseño de las capas del pavimento flexible, mediante cálculos analíticos y la creación de un modelo ,donde las mallas de polipropileno se utilizaron como un refuerzo estructural .Finalmente obtuvo como resultado una reducción de espesores a través de una buena adherencia del sistema geomalla-mezcla asfáltica.

Miranda (2015). “Índices del control de calidad en la evaluación de la condición superficial de los pavimentos de la Red Carretera Nacional”. El autor expresó como objetivo general el proporcionar las mediciones más significativas orientadas a la seguridad carretera con aplicación en los pavimentos rígidos y flexibles en el trayecto final de construcción o conservación; asimismo en los dispositivos de seguridad de carreteras. Concluye que el lector tenga conocimiento de los instrumentos indispensables para la evaluación del estado en que se encuentra el pavimento de la RNC, enfocada a la seguridad carretera; argumentando la magnitud de las mediciones y su relevancia para el usuario; además que, conservar el buen estado disminuye los gastos que son producidos por carreteras en deficiente estado de operatividad.

Cano (2017). “Gestión de Pavimentos de aeropuertos mediante indicadores de fisuración superficial”, expone el estudio de las diferentes fallas presentes en los pavimentos, el análisis de la toma de datos y un modelo del cálculo del PCI en la vía de la base aérea de Tapachula, basándose en la metodología de la Norma ASTM D5340-04, estimada como el mejor método para la estimación y cuantificación neutral del pavimento. Mediante el método PCI en la vía aérea empleada como modelo en la investigación, se crearon diferentes fallas para luego realizar un registro de las mismas, señalando el tipo de deterioro, severidad, y el tramo en Kilómetros donde se localiza. Concluye que en la relación de deterioros de la norma ASTM D5340-04, deberían de considerarse solo algunos de ellos por importancia superficial, ya que algunos de ellos averían de forma significativa la superficie del pavimento mientras que otros tienen transcendencia sobre el pavimento cuando ya son fallos estructurales. El método PCI solo muestra el estado superficial y no los daños estructurales que pueden estar presentes en el pavimento, por ello es necesario que un mismo indicador determine varios aspectos de estudio.

Carrasco y Vizhñay (2019). “Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman”. El autor propuso como objetivo general el desarrollo de un plan que permita que se evalúe estructuralmente los pavimentos analizando la información obtenida de las deflexiones encontradas a través del uso de la Viga Benkelman en Azogues, localidad de Ecuador; con el fin de proporcionar alternativas de solución. En esta investigación también se tuvo como objetivos realizar un correcto uso de la Viga Benkelman, así como utilizarla calibrada adecuadamente, además se planteó modelar un plan de evaluación dirigida a sus autoridades. Entre las conclusiones este declaró que todos los puntos encontrados tienen una subrasante mala, excepto 2 puntos, las cual se clasificó como mala por los rangos dados a partir del valor del CBR hallado.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Pavimento

Según el MTC (2008), es una estructura constituida por capas superpuestas, apoyado sobre el terreno de fundación denominado subrasante cuya finalidad es recibir de forma directa las cargas producidas por el tránsito y a su vez, debe proporcionar una superficie de rodadura uniforme, cómoda y segura, capaz de resistir y distribuir los esfuerzos de las cargas de tránsito en un determinado periodo de tiempo de servicio. Generalmente se conforma por: carpeta de rodadura, base y subbase.

2.2.1.1 Tipos de Pavimento

a. Pavimento Flexible:

Llamado también pavimento asfáltico, se forma por una carpeta de rodadura asfáltica, por debajo de esta capa encontramos la base granular y otra capa llamada subbase, las que están hechas para distribuir los esfuerzos ocasionados por las cargas de tránsito; como última capa se tiene a la subrasante, que soporta todas las cargas de las capas anteriores al terreno natural.

b. Pavimento Rígido:

También conocido como pavimento hidráulico, este tipo de pavimento tiene como principal material el concreto y adicionalmente presenta aceros de refuerzo. La losa de concreto se apoya en la base y debajo de esta se encuentra la subrasante.

Los pavimentos rígidos tienen la ventaja de no permitir deformaciones de las capas que se encuentran debajo de este.

c. Pavimento Semirrígido:

Cuenta con la misma composición del pavimento flexible; sin embargo, una de sus capas se refuerza de forma artificial con un aditivo como asfalto, una emulsión, cemento, cal, entre otros.

2.2.1.2 Ciclo de vida de los pavimentos

Las etapas de un proyecto de inversión de carreteras están divididas en dos partes: diseño (construcción) y mantenimiento, este último es un procedimiento vital para poder extender su vida útil y principalmente para mantener los patrones de calidad iniciales.

El ciclo de vida se puede clasificar en las siguientes etapas:

- **Fin de la Construcción:** Etapa donde el pavimento se encuentra en un excelente estado, cumpliendo con todos los estándares normalizados teniendo como objetivo el cubrir las necesidades de los usuarios.
- **Deterioro imperceptible:** Producido durante los primeros años de vida útil del pavimento, el cual va sufriendo un debilitamiento y desgaste progresivo en la superficie de rodadura, este agotamiento se produce en proporción a la cantidad de vehículos.
- **Deterioro acelerado:** Sucede dentro de un periodo de tiempo mayor a los 5 o 10 años, ya que la resistencia al tránsito se ve disminuida. La estructura del pavimento se encontrará dañada por fallas visibles.
- **Deterioro total:** Etapa que abarca el deterioro total del pavimento. La accesibilidad del pavimento se reduce y los diversos vehículos que circulan por la vía empiezan a verse dañados.

2.2.2 Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El PCI determina en que condición se halla el pavimento, se representa de forma numérica de 0 a 100, cuyo valor se obtiene al encontrar el máximo valor deducido mediante una serie de pasos, incluyendo la inspección visual. (Vásquez, 2002).

Tabla 1. Rangos de Calificación PCI.

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Fuente: Vásquez (2002).

2.2.2.1 Unidades de muestreo

La vía de pavimento flexible se fracciona en unidades de muestreo, donde el ancho de la calzada define el largo de la unidad de muestreo, obteniendo con ello un área determinar a evaluar por cada unidad de muestra.

Tabla 2. Longitudes de Unidades de Muestreo.

Ancho de calzada (m)	Longitud de unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Fuente: Vásquez (2002).

2.2.3 Fallas en pavimentos flexibles, según metodología PCI

2.2.3.1 Falla 1: Piel de cocodrilo

- **Descripción:**

Esta falla es caracterizada por la unión de las fisuras longitudinales, apreciándose grietas con forma de polígonos irregulares, produciéndose porque las cargas de tensión, transferidas a través de las ruedas de los vehículos son reiterativas, las cuales conllevan a una serie de deformidades en el pavimento, específicamente en la base y la carpeta de rodadura.

- **Causas:**

Esta falla empieza en la base estabilizada y se debe a las cargas repetidas del tránsito, el cual resulta ser mayor al permisivo. (MTC, 2018).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 3. Niveles de severidad piel de cocodrilo.

L (bajo)	Las grietas son finas, longitudinales y poligonales incompletas e interconectadas. Aún no se produce el descascaramiento o pérdida de material en los bordes de las grietas.
M (medio)	Las grietas en el pavimento se visualizan ligeramente descascaradas.
H (alto)	Las grietas piel de cocodrilo presentan un nivel muy desarrollado. Los bordes de las grietas se encuentran descascaradas en su totalidad.

Elaboración: La autora.

2.2.3.2 Falla 2: Exudación

- **Descripción:**

Esta falla es caracterizada por presentar en la carpeta asfáltica una serie de material bituminoso, el cual se origina principalmente por un exceso de

mezcla asfáltica. Es importante señalar que en épocas de frío no se podrá revertir su efecto, ya que para que se expanda la mezcla se necesita altas temperaturas.

- **Causas:**

- Por abundante materia de asfalto.
- Por falta de volumen de vacíos.
- Abundancia de sellante para asfalto en el pavimento.

- **Niveles de severidad:**

Tabla 4. Niveles de severidad exudación.

L (bajo)	Es evidente debido al color de la extensión del pavimento, por minúsculas pérdidas de asfalto.
M (medio)	En este nivel el asfalto es pegajoso, se identifica en el transcurso de pocas semanas.
H (alto)	El asfalto es pegajoso y de manera extensa, se detecta en el transcurso de varias semanas.

Elaboración: La autora.

2.2.2.3 Falla 3: Agrietamiento en Bloque

- **Descripción:**

Este tipo de falla se reconoce por presentar una serie de fisuras muy parecidas a la piel de cocodrilo, sin embargo, esta falla difiere por el tamaño, ya que el agrietamiento en bloque varía desde los 0.30 x 0.30 metros hasta los 3.0 x 3.0 metros; además esta falla es de tipo rectangular, por lo cual se difiere de la piel de cocodrilo que en muchas ocasiones son de tipo amorfo.

- **Causas:**

Se produce por la retracción del asfalto y por los lapsos de la variación de temperatura durante el día, no están ligadas a cargas vehiculares. (Vásquez, 2002).

- **Niveles de Severidad:**

Tabla 5. Niveles de severidad agrietamiento en bloque.

L (bajo)	Presenta una coalición de grietas leves.
M (medio)	Muestra una coalición de grietas con un nivel de daño medio.
H (alto)	Presenta una coalición de grietas de severidad alta.

Elaboración: La autora.

2.2.3.4 Falla 4: Abultamientos y hundimientos

- **Descripción:**

Esta falla por lo general aparece como elevaciones sobre la carpeta asfáltica y se difieren de los desplazamientos porque no son ocasionadas por pavimentos inestables.

- **Causas:**

- Alzamiento de la losa de concreto con presencia de sobre carpeta de concreto asfáltico.
- Ensanchamiento debido a congelación.
- Permeabilidad y levantamiento del pavimento en una fisura combinado con cargas vehiculares. (Vásquez, 2002).

- **Niveles de Severidad:**

Tabla 6. Niveles de severidad abultamientos y hundimientos.

L (bajo)	Los abultamientos y hundimientos producen una calidad del tránsito vehicular de severidad leve.
M (medio)	Los abultamientos y hundimientos producen una calidad del tránsito vehicular de severidad media.
H (alto)	Los abultamientos y hundimientos producen una calidad del tránsito vehicular de severidad notable.

Elaboración: La autora.

2.2.3.5 Falla 5: Corrugación

- **Descripción:**

Esta falla se produce por la presencia de una base inestable en la estructura del pavimento, sumándose a ello las cargas repetidas de tránsito, Se denomina corrugación cuando los abultamientos ocurren a una distancia inferior a 3.00 metros y van en sentido perpendicular a la dirección del tráfico.

- **Causas:**

La corrugación se produce por la acción del tránsito junto con una carpeta asfáltica inestable. (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 7. Niveles de severidad corrugación.

L (bajo)	Corrugaciones, originan una calidad del tránsito vehicular de severidad leve.
M (medio)	Corrugaciones, originan una calidad del tránsito vehicular de severidad media.
H (alto)	Corrugaciones, originan una calidad del tránsito vehicular de severidad considerable.

Elaboración: La autora.

2.2.3.6 Falla 6: Depresión

- **Descripción:**

Son áreas con niveles mínimamente más bajos que el pavimento a su alrededor; las depresiones difieren de los hundimientos porque estos presentan caídas más pronunciadas de nivel; la mejor forma de identificar esta falla en el pavimento seco es debido a las manchas producidas por el agua almacenada.

- **Causas:**

Esta falla es causada debido al asentamiento de la subrasante o a una mala construcción. (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 8. Niveles de severidad depresión.

L (bajo)	La profundidad máxima de depresión oscila entre 1.3 a 2.5 cm.
M (medio)	La profundidad máxima de depresión oscila entre 2.5 a 5.1 cm.
H (alto)	La profundidad máxima de depresión es de más de 5.1 cm.

Elaboración: La autora.

2.2.3.7 Falla 7: Grieta de Borde

- **Descripción:**

Se produce de forma paralela al sentido del tránsito y por lo general es originada por el mal proceso constructivo o mala condición de la base o subrasante, estos se ven agravados por un exceso de carga vehicular. Por lo general se encuentran entre 30 a 60 cm de borde del pavimento.

- **Causas:**

Es causado debido a circunstancias climáticas y desgaste de la base o subrasante cercanas al margen exterior del pavimento. (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 9. Niveles de severidad grieta de borde.

L (bajo)	Presencia de grietas de severidad leve o media, sin fraccionamiento o desprendimiento.
M (medio)	Presencia de grietas de severidad media, con algo de fraccionamiento o desprendimiento.
H (alto)	Fraccionamiento o desprendimiento considerable a lo largo del borde del pavimento.

Elaboración: La autora.

2.2.3.8 Falla 8: Grieta de Reflexión de Junta

- **Descripción:**

Esta falla se presenta en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Pórtland. (Vásquez, 2002). Por lo general esta falla se origina porque la losa es desplazada debido a distintos factores, como la humedad, temperatura u otros.

- **Causas:**

Originadas por el desplazamiento de la losa de concreto de cemento Pórtland, inducido por el grado de temperatura o humedad bajo la superficie de concreto de asfalto.

- **Niveles de severidad:**

Tabla 10. Niveles de severidad grieta de reflexión de junta.

	- Grieta sin relleno de ancho menor que 1 cm.
L (bajo)	- Grieta saturada de cualquier ancho (con condición satisfactoria de material llenante).
<hr/>	
	- Grieta sin relleno con ancho entre 1 cm y 7.6 cm.
M (medio)	- Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 7.6 cm. rodeada por un leve agrietamiento contingente.
<hr/>	
	- Cualquier grieta saturada o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.
H (alto)	- Grieta sin relleno de más de 7.6 cm
	- Grieta de cualquier ancho, con presencia de fragmentación del pavimento alrededor de la misma.

Elaboración: La autora.

2.2.3.9 Falla 9: Desnivel Carril/ Berma

- **Descripción:**

Se caracteriza por presentar diferencia de niveles entre la berma y el borde del pavimento. Por lo general ocurre cuando se realiza la colocación

de una sobre carpeta en la calzada sin considerar la posible diferencia de nivel con la berma.

- **Causas:**

Esta falla es causada debido a la erosión de la berma, asentamiento de la berma o la colocación de sobre carpetas en la calzada sin adecuar el nivel de la berma. (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 11. Niveles de severidad desnivel carril/berma.

L (bajo)	La diferencia de niveles entre el margen del pavimento y la berma oscila entre 2.5 y 5.1 cm.
M (medio)	La diferencia de niveles entre el margen del pavimento y la berma oscila entre 5.1 mm y 10.2 cm.
H (alto)	La diferencia de niveles entre el margen del pavimento y la berma es mayor que 10.2 cm.

Elaboración: La autora.

2.2.3.10 Falla 10: Grietas longitudinales y transversales

- **Descripción:**

Esta falla no está asociada con las cargas de tránsito, se extiende a través del pavimento de forma paralela al curso del tránsito vehicular.

- **Causas:**

- Un pavimento pobremente construido.
- Contracción superficial del pavimento debido al ciclo de temperatura diario.
- Una grieta de reflexión producida por el agrietamiento bajo la capa de base. (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 12. Niveles de severidad grietas longitudinales y transversales.

	- Grieta sin relleno de ancho menor que 1.0 cm.
L (bajo)	- Grieta saturada de cualquier ancho (con condición satisfactoria de material llenante).
	- Grieta sin relleno con ancho entre 1.0 cm y 7.6 cm.
M (medio)	- Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 7.6 cm. rodeada por un leve agrietamiento contingente.
	- Cualquier grieta saturada o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.
H (alto)	- Grieta sin relleno de más de 7.6 cm
	- Grieta de cualquier ancho, con presencia de fragmentación del pavimento alrededor de la misma.

Elaboración: La autora.

2.2.3.11 Falla 11: Parcheo

- **Descripción:**

Esta falla en sí engloba una determinada sección o área del pavimento, en la que se ha cambiado o sustituido con material nuevo para restaurar un área, la cual fue destruida para realizar algún tipo de reparación o instalación debajo del pavimento.

- **Niveles de severidad:**

Tabla 13. Niveles de severidad parcheo.

L (bajo)	El parche se encuentra en un estado adecuado, origina una calidad del tránsito vehicular de baja severidad.
M (medio)	El parche se encuentra moderadamente deteriorado, origina una calidad del tránsito vehicular de severidad media.
H (alto)	El parche se encuentra considerablemente deteriorado, origina una calidad del tránsito vehicular de severidad alta.

Elaboración: La autora.

2.2.3.12 Falla 12: Pulimiento de agregados

- **Descripción:**

Es producida por las cargas repetitivas del tránsito vehicular; la superficie del pavimento se vuelve suave al tacto, como consecuencia la adhesión de las llantas del vehículo y la superficie de rodadura se reduce considerablemente.

- **Causas:**

- Originada por la incidencia de cargas del tránsito vehicular.

- **Niveles de severidad:**

No se especifica. El pulimiento de agregados debe ser notable para ser tomado en cuenta en la evaluación del estado del pavimento. (Vásquez, 2002).

2.2.3.13 Falla 13: Huecos

- **Descripción:**

Son pequeñas depresiones que se encuentran en la superficie del pavimento, por lo general el diámetro de los huecos es menor a los 90.0 centímetros, presentan bordes muy agudos y lados verticales cercanos a la zona superior.

- **Causas:**

Originados por el tránsito vehicular, que extrae pequeñas fracciones de la superficie del pavimento. Si son originados por Piel de Cocodrilo de severidad alta, se registran como huecos. (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

El grado de severidad para los huecos con un diámetro que es menor a 762 mm, se fundamenta de acuerdo con la profundidad máxima de este y el diámetro medio, según TABLA 03.

Si el diámetro es mayor a 762 mm, el área se calcula en m² y se divide entre 0.47 m², para atinar la cantidad de huecos correspondientes. Los huecos con profundidad menor o igual a 25 mm se estiman como de severidad media, los huecos con profundidad mayor a 25 mm se estiman como de severidad alta. (Vásquez, 2002).

Tabla 14. Niveles de severidad para huecos.

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio(mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12.7 a 25.4 mm	L	L	M
>25.4 a 50.8 mm	L	M	H
>50.8 mm.	M	M	H

Fuente: Vásquez (2002).

2.2.3.14 Falla 14: Cruce de Vía Férrea

- **Descripción:**

Son depresiones o abultamientos alrededor de los carriles de la vía del tren. (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 15. Niveles de severidad cruce de vía férrea.

L (bajo)	El cruce de vía férrea produce una calidad del tránsito vehicular de baja severidad.
M (medio)	El cruce de vía férrea ocasiona una calidad del tránsito vehicular de severidad media.
H (alto)	El cruce de vía férrea ocasiona una calidad del tránsito vehicular de severidad alta.

Elaboración: La autora.

2.2.3.15 Falla 15: Ahuellamiento

- **Descripción:**

Es una depresión superficial en la extensión de las huellas de las ruedas, puede presentarse como un levantamiento del pavimento en el borde del ahuellamiento. (Vásquez, 2002).

- **Causas:**

Esta falla es originada por la deformación en una de las capas del pavimento o la subrasante, debido a la acción de las cargas vehiculares. (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 16. Niveles de severidad ahuellamiento.

L (bajo)	6.0 a 13.0 mm
M (medio)	>13.0 mm a 25.0 ms.
H (alto)	> 25.0 mm.

Elaboración: La autora.

2.2.3.16 Falla 16: Desplazamiento

- **Descripción:**

Es un desplazamiento de forma longitudinal y permanente de un área de la superficie del pavimento causado por las cargas de tránsito vehicular (Vásquez, 2002).

- **Causas:**

Los desplazamientos ocurren en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables. (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 17. Niveles de severidad desplazamiento.

L (bajo)	El desplazamiento afecta levemente el tránsito vehicular.
M (medio)	El desplazamiento afecta moderadamente el tránsito vehicular.
H (alto)	El desplazamiento afecta gravemente el tránsito vehicular.

Elaboración: La autora.

2.2.3.17 Falla 17: Grietas parabólicas

- **Descripción:**

Esta falla se presenta en forma de medialuna creciente, ocurre en presencia de una mezcla asfáltica pobre (Vásquez, 2002).

- **Causas:**

Generada por el giro de las ruedas de los vehículos, que inducen a la deformación del pavimento cuando la mezcla de asfalto es de resistencia baja (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 18. Niveles de severidad grietas parabólicas.

L (bajo)	- Ancho promedio de la grieta menor que 1 cm.
	- Ancho promedio de la grieta entre 1 cm y 3.8 cm.
M (medio)	- El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustado
	- Ancho promedio de la grieta mayor a 3.8 cm.
H (alto)	- El área alrededor de la grieta está fracturada en piezas fácilmente removibles.

Elaboración: La autora.

2.2.3.18 Falla 18: Hinchamiento

- **Descripción:**

Se identifica por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento mayor a 3.0 m de longitud. (Vásquez, 2002).

- **Causas:**

El hinchamiento es originado por el congelamiento en la subrasante o por suelos expansivos (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 19. Niveles de severidad hinchamiento.

L (bajo)	El hinchamiento origina una calidad del tránsito vehicular de baja severidad.
M (medio)	El hinchamiento origina una calidad del tránsito vehicular de severidad media.
H (alto)	El hinchamiento origina una calidad del tránsito vehicular de severidad alta.

Elaboración: La autora.

2.2.3.19 Falla 19: Desprendimiento de agregados

- **Descripción:**

La meteorización o desprendimiento es la supresión de la superficie del pavimento debido a la supresión del ligante asfáltico. (Vásquez, 2002).

- **Causas:**

Originado porque el ligante asfáltico se encuentra endurecido de forma considerable por una mezcla asfáltica pobre. Si se origina por el derrame de aceites también se estima como desprendimiento (Vásquez, 2002).

- **Niveles de severidad:**

Tabla 20. Niveles de severidad desprendimiento de agregados.

L (bajo)	Los agregados y el ligante asfáltico del pavimento han empezado a perderse. Para el derramamiento de aceite, se puede estimar cuando la superficie asfáltica no se puede atravesar con una moneda.
M (medio)	Los agregados y el ligante asfáltico se han perdido. Para el derramamiento de aceite se puede estimar cuando la superficie asfáltica se puede atravesar con una moneda.
H (alto)	Los agregados y el ligante asfáltico se han perdido por completo. Para el derramamiento de aceite se puede estimar cuando el ligante se encuentra suelto y ha perdido su efecto ligante.

Elaboración: La autora.

2.2.3 Software Evalpav

Software creado por el Ing. Gerber Zabala, desarrollado en la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, el cual tiene como finalidad impulsar el estudio, investigaciones y uso del software a través del desarrollo de tecnologías que puedan aplicarse al rubro educativo, laboral y administrativo; de tal manera que este sistema sirva como complemento y solución práctica para las diversas situaciones con respecto al estudio de infraestructura vial .

La aplicación del software – EvalPav – concerniente a la evaluación de la condición superficial en el área de mejoramiento, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, posibilita la optimización de métodos y estrategias para el procesamiento de datos en un breve lapso para que, en consecuencia, se mejoren los resultados, sean exactos y de calidad, asimismo, el análisis de los resultados permite que se propongan alternativas de solución en menor tiempo.

El software EvalPav comprende 3 versiones de evaluación superficial para Carreteras (ASTM D 6433-03), Carreteras No Pavimentadas (USACE TM 5-626) y Aeropuertos (ASTM D5340-04), los cuales están basados en la metodología PCI. Las versiones descritas posibilitan un estudio rápido, dinámico y de fácil entendimiento para el usuario, ya que el software permite la simplificación de manera práctica el ingreso de datos, modificación automática de datos y análisis sistemático de resultados.

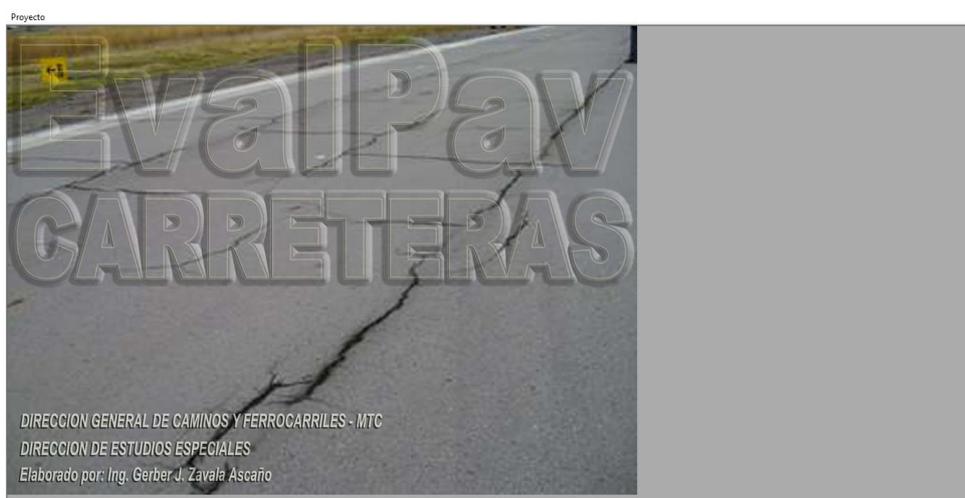


Figura 5. Portada de Software Evalpav.

Fuente: MTC (2013).

2.2.4 Viga Benkelman

Alvin Carlton Benkelman es la persona que crea la viga con su nombre, la Viga Benkelman. Es una de las principales herramientas que se conocen para hallar las deflexiones por ende para la evaluación estructural de un pavimento.

Hoy es un ensayo muy conocido a nivel internacional. La abundancia de información, conocimiento y definiciones obtenidos a partir de su uso es una base de datos invaluable ya que aportó en demasía para que otras herramientas actuales se den a conocer.

Actualmente, muchos países han adoptado este ensayo en sus manuales de ensayos tal como sucede en el Perú, la normativa peruana, este ensayo se denomina como “MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN MTC E-1002” y la encontramos en el Manual Ensayo de Materiales donde su principal objeto tiene como fin detallar el procedimiento para determinar la deformación recuperable o deflexión producido por una carga estática. También se tiene como referencia normativa de la ASTM 4695.

Esencialmente, este ensayo permite medir las deflexiones suscitadas en un pavimento flexible por medio de cargas vehiculares, este método es muy usado ya que es práctico y los resultados que se obtienen son buenos. Este método se ejecuta bajo el principio de la palanca, su manejo es mecánico y simple diseño.

2.2.4.1 Equipos y materiales para la Viga Benkelman

- Viga Simple de solo un brazo con su dial respectivo (0,01 mm y de recorrido de 12 mm).
- Viga Benkelman de doble brazo (0,01 mm y de recorrido de 12 mm).
- Un camión para el ensayo especial con un peso del eje trasero de 8.2 toneladas distribuido equitativamente, las llantas deben ser de caucho y cámaras neumáticas.
- Reloj con segundero.
- Termómetro convencional con escala de -10 °C a 50 °C y precisión de 1 °C.
- Manómetro para medir el inflado.
- Cinta métrica de 25 m de longitud u otra herramienta de medida.
- Martillo y clavos de acero, o taladro, con el fin de realizar orificios en el pavimento con una altura de 5 cm.

- Cuña.
- Tizas y pintura para realizar las marcas en el pavimento de estudio.
- Aceite.

2.2.4.2 Procedimiento de la Viga Benkelman.

La viga se conforma por un cuerpo de apoyo colocado sobre el pavimento y un brazo móvil que se incorpora al cuerpo fijo, el equipo lleva incorporado un vibrador que al entrar en funcionamiento, evita que se creen interferencias en la lectura.

El espesor de la punta de la viga es colocado entre una de los neumáticos del eje posterior del camión cargado; y las cargas actuantes del camión cargado sobre el pavimento es equilibrado hacia las mismas. Previo a realizar el ensayo, se selecciona un punto referencial, con ayuda de una varilla se traza una línea horizontal en la superficie desde el borde del pavimento, según las distancias elegidas por el MTC de acuerdo al ancho de carril. Las llantas son ubicadas en el punto elegido, de manera que exista coincidencia con el centro de gravedad del eje vertical.

Situados los neumáticos sobre el pavimento, se inserta parte del extremo del brazo móvil de la viga. Se prende el vibrador, colocando el dial en 0, se toman lecturas previas. La aplicación de este ensayo requiere de 3 lecturas adicionales a la primera lectura, a través de la cual se obtiene la deflexión máxima. La primera marca adicional, se elige a una distancia tal que, la deflexión hallada sea igual a la mitad de la deflexión máxima de la lectura que se realizó inicialmente; la segunda marca se realiza al doble de distancia de la primera marca; la lectura final se realiza cuando la deflexión sea igual a 0. Es importante que las marcas adicionales se consideren efectivas mediante previos tanteos al iniciar la toma de datos. Una vez instalada la viga Benkelman se debe verificar el alineamiento longitudinal con el curso del camión, se moviliza el camión de forma lenta a través de la viga, luego se toman las respectivas mediciones. Cuando la varilla vertical coincida con la primera y segunda marca; se registra la lectura final en un punto muy apartado de la viga, cuando el indicador del dial este completamente detenido.



Figura 6. Evaluación estructural del pavimento Viga Benkelman.

Fuente: Geofal SAC, 2019.

a. Viga Simple

Se calcula restando los valores de la lectura inicial y la lectura final. Si la deflexión es 25 cm, se resta la lectura a 25 cm y la lectura final, lo cual aplica el mismo ejemplo para las deflexiones tomadas a otras distancias.

Se tiene la siguiente fórmula:

$$D = (LF - LR) \times RB$$

Donde:

D: Deflexión

LF: Lectura a la distancia R

LR: Lectura máxima

RB: Por lo general 1:2 o 1:4

b. Viga Doble

Este caso cuando sea doble el cálculo se halla de forma directa, es decir se multiplican directamente.

Se tiene la siguiente fórmula:

$$D = LD \times RB$$

Donde:

D: Deflexión

LD: Lectura del Dial

RB: Por lo general 1:2 o 1:4

2.2.4.3 Muestreo de la Viga Benkelman.

Específicamente las muestras son puntos donde se realizarán las lecturas, es recomendable tomar medidas a cada 50.0 o 100.0 metros de distancia.

Ahora para determinar un punto exacto dentro de la distancia entre punto y punto es necesario determinar la distancia desde el borde del pavimento, para ello se debe tener en cuenta la siguiente tabla donde nos indica la distancia dependiendo del ancho del carril.

Tabla 21. Distancias indicadas.

Ancho de Carril (en m)	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento (en m)
2.70	0.45
3.00	0.60
3.30	0.75
3.6 a más	0.90

Fuente: MTC, 2016).

2.2.4.4 Parámetros de Evaluación de la Viga Benkelman

Se detallan 2 parámetros, la Longitud Característica L_0 y el Módulo de Elasticidad de la subrasante E_0 .

a. Longitud Característica L_0

Este parámetro es el que muestra la rigidez relativa que existe entre el pavimento y la subrasante, el valor de este parámetro es dependiente de las deflexiones DR (deflexiones a una distancia R) y D_0 (Deflexión máxima) y la distancia a la que fue tomada R . El valor de L_0 varía en el orden de 80 a 15 cm, donde 80 representa un pavimento rígido sobre una subrasante débil; y 15 representa lo contrario, un pavimento débil sobre una subrasante fuerte.

b. Módulo de Elasticidad de la subrasante E_0

Este indicador representa la capacidad de la subrasante de retornar a su estado original luego de ser sometida a una carga, en otras palabras, mide la flexibilidad del subsuelo participante en la deformación del sistema subrasante - pavimento. Una subrasante mientras su módulo de elasticidad sea de mayor, será más rígida. Para encontrar su valor es necesario conocer el parámetro anterior, la longitud característica.

2.2.4.5 Modelo de Hogg.

Hogg desarrolla su modelo matemático el cual se basa en el modelo bicapa, el cual se obtiene al desarrollar la ecuación diferencial que incluye derivadas parciales, gracias a los conceptos y teorías de la transformada de Hankel y los “conceptos de teorías de placas y láminas”.

Cuando hablamos de la viga Benkelman y su desarrollo, es importante mencionar este modelo, ya que fundamenta un sistema bicapa mediante un modelo matemático con el fin de expresar el estado del pavimento a través del valor del CBR. Bajo este modelo matemático se señala que el valor del CBR de la subrasante, es importante tanto para el inicio del planteamiento de un nuevo pavimento como para un pavimento ya constituido, con los fines de poder dar una alternativa de mantenimiento o rehabilitación.

El modelo de Hogg posibilita la caracterización de los materiales comprendidos en el sistema pavimento-subrasante, a base de las curvas de deflexiones, lo más resaltante es que para utilizar este modelo matemático no se necesita tener conocimiento acerca del espesor de las capas, lo cual se considera como una ventaja porque mayormente no se conocen estos datos.

Como aporte más importante es que mediante su modelo permite obtener la elasticidad de la subrasante y por consiguiente el CBR, todo a partir del conocimiento de las deflexiones medidas por algún ensayo, como es en este caso la Viga Benkelman.

En sí el desarrollo de este modelo matemático, se fundamenta en el empleo de 2 nomogramas, los cuales han sido mejorados para un correcto desempeño y ubicación de los parámetros deseados. Se presentan a continuación.

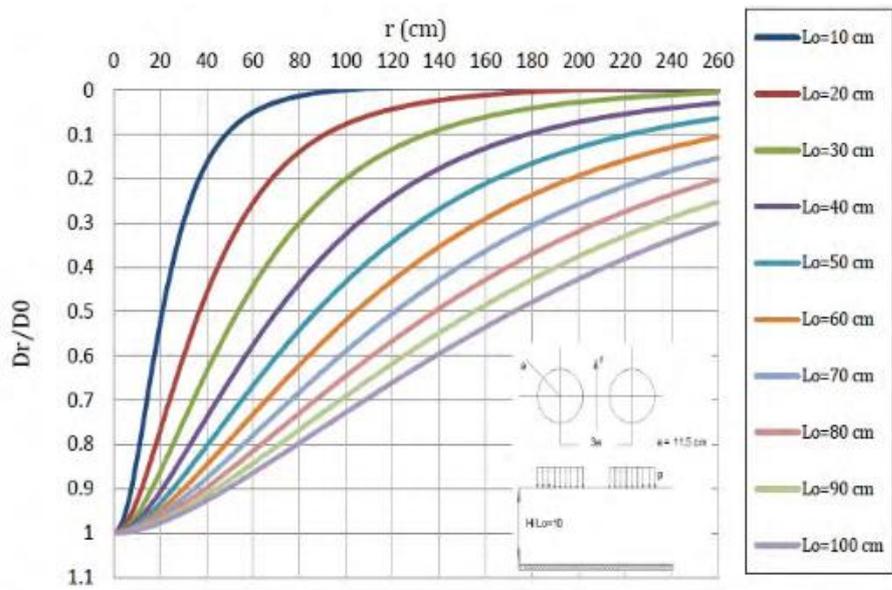


Figura 7. Nomograma 1 D_r/D_0 vs R.

Fuente: Balarezo, 2017.

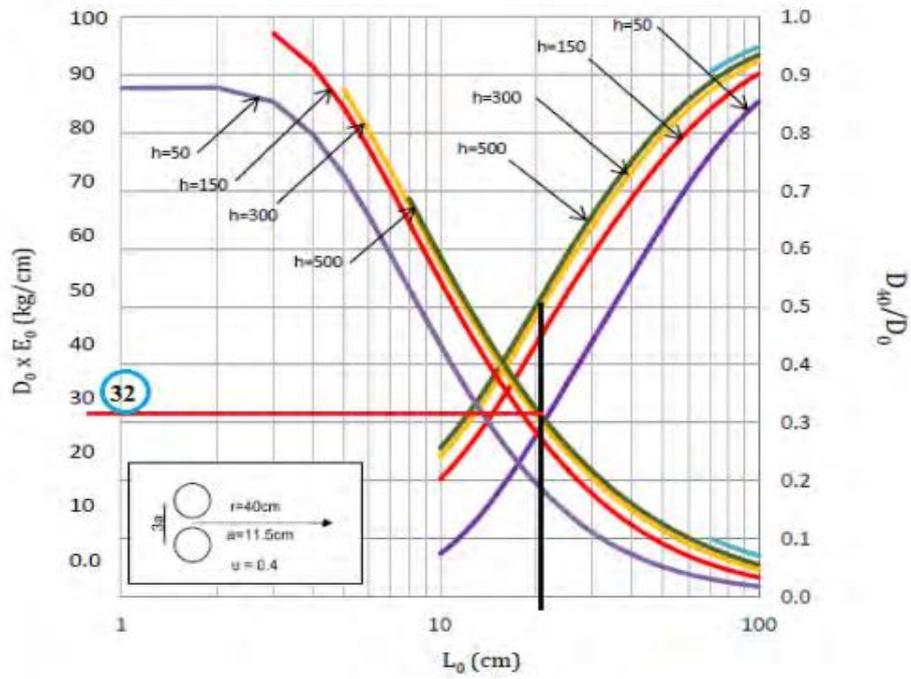


Figura 8. Nomograma 2 $D_0 \times E_0$ vs $D_r \times D_0 \times L_0$.

Fuente: Balarezo, 2017.

2.3 Marco Conceptual

- **Base:** Capa que se sitúa debajo de la capa asfáltica del pavimento flexible, ofrece resistencia a la deformación debido al tránsito
- **Sub-Base:** Capa que se encuentra sobre la subrasante y debajo de la base.
- **Sub-rasante:** Esta capa ofrece apoyo permanente al pavimento flexible.
- **Asfalto:** Aglomerante oscuro que se compone de hidrocarburos, para la aplicación de pavimentos se dividen en: cementos asfálticos, asfaltos cortados y emulsiones asfálticas.
- **Emulsión Asfáltica:** Es la emulsión constituida por cemento asfáltico y agua.
- **Conservación vial:** Conjunto de actividades que tienen con finalidad el preservar el pavimento de la infraestructura vial.
- **Mantenimiento vial:** Actividades técnicas que tienen como finalidad conservar la infraestructura vial.
- **Fisura:** Fina fragmentación del pavimento, con un ancho menos de 3 mm.
- **Grieta:** Fragmentación con un ancho mayor de 3 mm., se presenta longitudinal o transversalmente en el pavimento.
- **Hinchamiento:** Abultamiento de una parte del pavimento, se presenta en forma de onda.
- **Imprimación:** Adherimiento del material bituminoso, previo a la colocación de una capa de mezcla asfáltica.
- **Mantenimiento:** Son trabajos destinados a conservar el largo plazo de la vida útil de pavimento, disminuir sobrecosto en reparación la infraestructura vial y el servicio que prestará para que los usuarios sean

beneficiados conforme a los niveles de servicio determinados en las estrategias y políticas de conservación viales.

- **Reparación:** Actividades que se realizan en la calzada y también en los diversos elementos de infraestructura vial, consiste en enmendar, arreglar o recuperar el estado de cualquier elemento de la infraestructura vial afectado. (MTC, 2013).
- **Rehabilitación:** Son trabajos que se realizan para restituir a la infraestructura vial, sus características originales y adecuarlas a su nuevo periodo de servicio, donde están referidos principalmente a reparación, recuperación de pavimentos. (MTC, 2013).
- **Calzada:** Sector de la carretera que se encuentra entre las dos veredas donde transitan los vehículos, también llamado acera.
- **Carril:** Parte de la calzada correspondiente al tránsito vehicular en un sentido particular.
- **Superficie de rodadura:** Parte plana del pavimento que soporta de forma directa las cargas vehiculares el cual debe tener unas determinadas características.
- **Deflexión:** Deformación elástica que padece un pavimento bajo la acción de una carga rodante normalizada.
- **CBR:** Es un método que sirve para evaluar el estado o calidad del suelo para la subrasante, donde se establece o halla la capacidad del soporte del suelo y agregados a niveles de humedad óptima y compactación diferente.

Tabla 22. Clasificación por valor de CBR.

Categoría de la Subrasante		CBR
S0	Inadecuada	Menos del 3%
S1	Pobre	Entre 3% y 6%
S2	Regular	Entre 6% y 10%
S3	Buena	Entre 10% y 20%
S4	Muy buena	Entre 20% y 30%
S5	Excelente	Mayor al 30%

Elaboración: La autora.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general:

- Realizando la evaluación y el diagnóstico del pavimento flexible mediante la aplicación de la metodología PCI y el ensayo de la viga Benkelmann, se conoce el estado de la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en la Ciudad de Chiclayo.

2.4.2 Hipótesis específicas:

- El registro de daños mediante la metodología PCI, permite conocer el estado de conservación del pavimento flexible en la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en Chiclayo.
- El análisis de los resultados del ensayo de la viga Benkelman, permite determinar el estado estructural de la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en Chiclayo.
- El conocer el estado del pavimento permite realizar una propuesta de rehabilitación del pavimento flexible en avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en la Ciudad de Chiclayo.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La investigación es aplicada, ya que el presente estudio tiene un propósito práctico, el resolver de forma práctica un problema establecido y conocido. Se pretende evaluar el pavimento aplicando la inspección visual y la recolección de datos, utilizar un procedimiento sistemático y diagnosticar el estado superficial y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI y el ensayo de la Viga Benkelman de la zona estudiada.

El enfoque es cuantitativo ya que presenta una secuencia para su desarrollo, utiliza la recolección y análisis de datos que permitirán probar la hipótesis, los cuales son medidos de forma numérica.

3.2 Nivel de investigación

La investigación es descriptiva, ya que utiliza el recojo y análisis de datos e información de las unidades de muestreo, las cuales se describen en la evaluación superficial conforme a los parámetros tipo, nivel de severidad y extensión; y en la evaluación estructural de acuerdo con los parámetros de Longitud característica y módulo de elasticidad de la subrasante. La investigación pretende describir las características y datos de los tipos de fallas que existen en el pavimento estudiado, analizar las deflexiones obtenidas; se utiliza la observación directa y procesamiento de datos, lo cual

deriva en la obtención de información que servirá de guía para un plan de mantenimiento de la zona estudiada.

3.3 Diseño de la investigación

La investigación es no-experimental ya que la variable independiente, no es controlada por el investigador, en el cual se utiliza la inspección a través de la observación directa y el procesamiento de datos con ayuda del software EvalPav y los nomogramas, obteniéndose a través de ello datos cuantificados numéricamente.

Asimismo, de acuerdo al tiempo y la secuencia de la investigación es de tipo transversal ya que el registro de los datos de campo se efectuó en un solo tiempo y de manera visual.

3.4 Variables

En la presente tesis se logró identificar dos tipos de variables, la dependiente e independiente; se considera como variables independientes: la metodología PCI, utilizando el software Evalpav; y el ensayo de la Viga Benkelman, utilizando nomogramas.

La variable independiente Metodología PCI, utilizando el software Evalpav, es una variable de tipo cualitativa ya que no puede ser medida numéricamente sino discreta y además obedece un rango de niveles, siete, entre los rangos de clasificación de 0 a 100, fallado a excelente respectivamente; además la variable dependiente sería el estado de conservación del pavimento.

La variable independiente Ensayo de la Viga Benkelman es una variable de tipo cualitativa ya que el resultado es una cualidad, el Módulo de Elasticidad y el CBR de la subrasante, del cual se obtiene la categoría de subrasante que varía entre inadecuada, pobre, regular, buena, muy buena y excelente, de acuerdo a los valores propuestos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

a. Objeto de estudio:

- El Pavimento Flexible de la avenida Confraternidad-Chiclayo.

b. Variable dependiente:

- Estado de conservación del pavimento de la avenida Confraternidad-Chiclayo.
- Estado de la subrasante del pavimento de la avenida Confraternidad-Chiclayo.

c. Variables independientes:

- Metodología PCI utilizando el software EvalPav.
- Ensayo de la Viga Benkelman.

3.4.1 Operacionalización de variables

Tabla 23. Esquematización de variable dependiente.

VARIABLE	INDICADORES	INDICES	INSTRUMENTO
Estado de conservación del pavimento	Clasificación de la vía	Índice de condición del pavimento	EvalPav
	Vida útil del pavimento	parámetros de evaluación	Manual de carreteras MTC
Estado de la subrasante	Deflexiones en el pavimento	CBR	MTC E 1002 - METODO DE HOGG

Elaboración: La autora.

Tabla 24. Esquematización de variable independiente.

VARIABLE	INDICADORES	INDICES	INSTRUMENTO
Metodología PCI utilizando el software Evalpav	Parámetros de evaluación	Clase, severidad y	Formatos de Evaluación
	PCI	Hallar el PCI	Formatos de Evaluación
	Condición del pavimento	Escala PCI	Formatos de Evaluación
Ensayo de la viga Benkelman	CBR	Deflexiones	Formatos de Evaluación

Elaboración: La autora.

3.5 Población y muestra

La población y muestra de la presente investigación es el estudio y evaluación del pavimento flexible de la avenida Confraternidad, localizado en el Pueblo Joven de Ricardo Palma en la Ciudad de Chiclayo.

La evaluación comprende una zona de estudio, la cual tiene una extensión total de 1200.00 metros, 2 calzadas, 4 carriles, la calzada cuenta con un ancho de 7.30 m en dos sentidos y una unidad de muestra de longitud de 32.00 m.

En el caso de la Metodología PCI, se emplean 20 unidades de muestra, las cuales tienen un área de muestreo de 233.60 m² cada una.

En cuanto a la viga Benkelman, se tomaron puntos de referencia de la calzada derecha e izquierda, con 600.00 metros de longitud por calzada, se tomaron puntos a cada 100 metros, obteniendo un total de 6 puntos de referencia por calzada, es decir, 12 puntos en total en la calzada derecha e izquierda.

3.6 Recolección de datos

Para el desarrollo de la investigación se emplearon dos medios esenciales, en cuanto a la metodología PCI, se utilizó la técnica de evaluación visual para así obtener las fallas presentes en el pavimento y para la Viga

Benkelman se utilizaron datos referenciales, los cuales fueron ajustados de acuerdo con la investigación.

3.7 Instrumentos de recolección de datos

A continuación, se reseñan los instrumentos que se emplearon para el recojo de datos: formato de evaluación PCI, estructurado de acuerdo con la metodología PCI, donde registra la información necesaria para el procesamiento de datos, el nombre de la avenida, calzada correspondiente, progresiva inicial y final, ancho y longitud de la muestra y los parámetros de evaluación (tipo de falla, extensión, y gravedad).

3.8. Técnicas de procesamiento de datos

- Observación Directa, mediante la inspección visual del Pavimento.
- Recolección, descripción e interpretación de datos, utilizando el formato PCI para pavimento flexible y el manual de la metodología PCI.
- Análisis y procesamiento de datos, se realizó el cálculo de Índice de Condición del Pavimento, a través del software EvalPav.
- Cálculo para hallar las deflexiones, nomogramas y categoría de subrasante.

3.9 Instrumentos de Procesamiento de Datos

Para el procesamiento de datos se utilizó el computador; sin embargo, este nos brindará dos herramientas importantes, el software EvalPav, el cual facilita el procesamiento de información y calcula los valores del Índice de Condición del Pavimento; y la hoja de cálculo Excel, en donde se añadieron los puntos de la Viga Benkelman, permitió hallar la deflexión final y porcentaje de CBR en cada punto de las progresivas detalladas.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Ubicación del Proyecto

La zona de estudio está localizada al norte del Perú, en la ciudad de Chiclayo, exactamente en el Pueblo Joven Ricardo Palma, en el que se ubica la avenida Confraternidad, la cual tiene una extensión de 600.00 metros lineales.

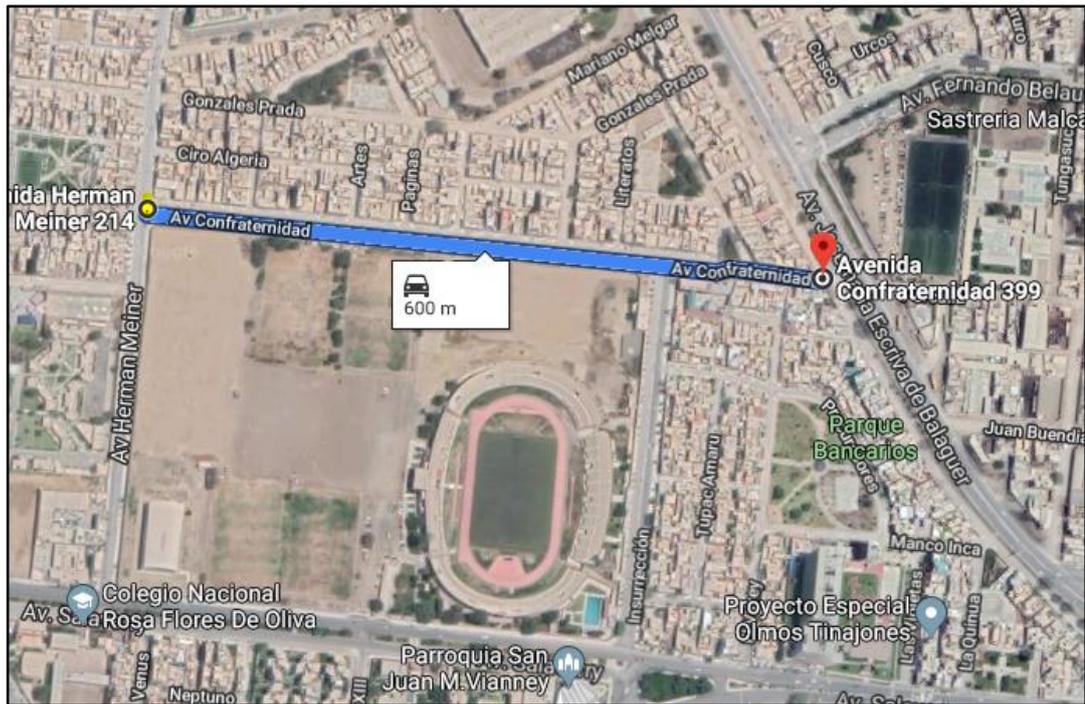


Figura 9. Ubicación de la Av. Confraternidad.

Fuente: Google Maps, 2010.

La avenida Confraternidad se encuentra delimitada de la forma siguiente:

- Extensión: 600.00 m.
- Calzadas: 2
- Carriles por Calzada: 2
- Ancho de Calzada: 7.30 m
- Tipo de pavimento: flexible
- Por el Norte: con edificaciones y la UGEL de Chiclayo.
- Por el Oeste: con la avenida Herman Meiner
- Por el Este: con la avenida José María Escrivá de Balaguer
- Por el Sur: con edificaciones y el estadio Elías Aguirre
- Coordenadas: Latitud Sur: 6°45'59.4"S. Latitud Oeste del Meridiano de Greenwich: 79°51'30.3"

La avenida en estudio se dividió en 2 tramos, esencialmente a partir de las calzadas, en el cruce con la Avenida José María Escrivá de Balaguer inicia la avenida, la cual se divide en dos sentidos. Se describen a continuación:

a. Calzada Derecha (CD):

Inicia en el cruce de la avenida Confraternidad y la avenida José María Escrivá de Balaguer, donde los vehículos circulan con dirección a la avenida Herman Meiner, esta calzada tiene dos carriles y la calzada cuenta con un ancho de 7.30 m.



Figura 10. Calzada Derecha de La Av. Confraternidad.

Fuente: Google Maps, 2015.

b. Calzada Izquierda (CI):

Inicia en el cruce de la Avenida Confraternidad y la avenida José María Escrivá de Balaguer, donde los vehículos circulan con dirección a la avenida José María Escrivá de Balaguer, esta calzada tiene dos carriles y la calzada cuenta con un ancho de 7.30 m.

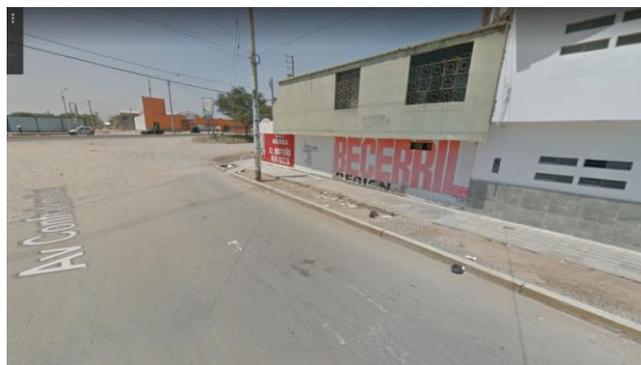


Figura 11. Calzada Izquierda de La Av. Confraternidad.

Fuente: Google Maps, 2015.

4.2 Identificación de daños existentes en la vía.

Para realizar la inspección del pavimento de la avenida Confraternidad, se dividió la vía en unidades de muestra, según el ancho de la vía de 7.30 m., la longitud de cada unidad de muestreo es de 32.00 m., siendo el área de cada unidad de muestra de 233.60 m²; según estos valores al seccionar la vía se tuvieron que inspeccionar las unidades de muestreo seleccionadas conforme al método PCI, y para su fácil localización fue necesario ubicar cada unidad de muestra en progresivas.

4.2.1 Inspección

Se inspeccionó cada unidad de muestreo, utilizando el formato de evaluación PCI y el manual de la metodología PCI para determinar los tipos de fallas presentes en cada una de ellas, nivel de gravedad y extensión.

Para el ensayo con la Viga Benkelman, se utilizó la metodología que se detalla en el Manual de Ensayo de Materiales de la norma MTC E 1002.

4.2.2 Aplicación de la Metodología PCI

Inicialmente, se reconoció el ancho de calzada, la cual es 7.30 m, lo que implica una longitud de muestra de 31.50 m, por criterio se tomó 32.00 m. como longitud de muestra.

Tabla 25. Longitud de muestra según ancho de Calzada.

Ancho de calzada (m)	Longitud de muestra (m)
5.00 (o menos)	46.00
5.50	41.80
6.00	38.30
6.50	35.40
7.30 (máximo)	31.50

Fuente: Vásquez, 2002.

Por consiguiente, se tuvo que reconocer si el área de muestra se encuentra en el rango que autoriza la metodología PCI; es decir si se

encuentra entre 137.00 m² y 323.00 m², lo cual sí cumple ya que el área de muestra es de 233.60 m².

Se procedió a buscar el número mínimo de muestras, mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Ns^2}{\left(\frac{e^2}{4}\right)(N-1)+s^2} \dots (1)$$

- n=Número mínimo de unidades de muestra a inspeccionar
- N=Número total de unidades de muestra
- e=Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e=5%)
- s=Desviación estándar del PCI

Siendo e=5% y s=10 para pavimento asfáltico, n será igual a n=8.889.

Para hallar el valor de N, se opera de la siguiente manera:

$$N = \frac{\text{longitud de la vía} * \text{sección de la vía}}{\text{área de muestra}}$$

- $N = (600 \times 7.3) / (32 \times 7.3) = 18.75 = 19$ (por criterio se usaron 20 unidades de muestra)

Para conocer el intervalo se divide N entre n, con el fin de conocer el intervalo el cual será multiplicado por la longitud de la muestra (32.00 m)

$$i = (19/8.889) \times 32 = 64 \text{ m.}$$

Luego, se procedió a hallar todas las progresivas:

Tabla 26. Progresivas para muestreo de PCI.

PROGRESIVA:
0+000
0+032
0+064
0+096
0+128
0+160
0+192
0+224
0+256
0+288
0+320
0+352
0+384
0+416
0+448
0+480
0+512
0+544
0+576
0+600

Elaboración: La autora.

Se realizó el seccionamiento por calzada, teniendo en total 20 muestras.

Tabla 27. Extensión de muestras por carril.

Carril Derecho		Carril Izquierdo	
0+000	0+032	0+000	0+032
0+064	0+096	0+064	0+096
0+128	0+160	0+128	0+160
0+192	0+224	0+192	0+224
0+256	0+288	0+256	0+288
0+320	0+352	0+320	0+352
0+384	0+416	0+384	0+416
0+448	0+480	0+448	0+480
0+512	0+544	0+512	0+544
0+576	0+600	0+576	0+600

Elaboración: La autora.

Los pasos para el llenado del formato en cada unidad de muestreo fueron los siguientes:

- I. Primero se registraron los datos de cada unidad de muestreo en un formato PCI determinado, colocándole el número correspondiente de la unidad de muestra a evaluar; la progresiva de inicio y la progresiva de fin, al evaluar la primera muestra en el formato se inició con la progresiva 0+000; el ancho y largo de la avenida y el área de cada unidad de muestra.
- II. Luego se evaluó e inspeccionó los tipos de fallas existentes en cada unidad de muestreo, utilizando el formato de evaluación PCI; para ello los 19 tipos de fallas se representaron en números de 1 a 19 según corresponda, utilizados como códigos para simplificar la información de los datos recolectados en las muestras evaluadas.
- III. En esta parte del formato se tomó nota del código de los tipos de fallas inspeccionados, cada falla acompañada con su respectivo nivel de severidad: Alta (H), media (M) y baja (L), extensión en m, m² o unidades, según la unidad de medición de la falla evaluada.
- IV. Luego todos los datos se digitaron en Excel, como se muestra en la Tabla 11., en la cual se especifican los datos de la muestra de manera horizontal y ordenada, con el fin de que se facilite la importación al Software EvalPav.

Tabla 28. Hoja de cálculo para exportar a Evalpav.

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
320.00	352.00	1	H	3	0	1.1	18			DERECHO	7.3	LL
320.00	352.00	12	M	2.8	0	2.8	32			DERECHO	7.3	LL
320.00	352.00	13	H	0.8	16	2.6	3.1			DERECHO	7.3	LL
320.00	352.00	13	H	1.1	28	1.2	0.8			DERECHO	7.3	LL

Elaboración: La autora.

V. Se ejecutó un Nuevo Proyecto en el Software EvalPav:



Figura 13. Paso 1 para usar Evalpav.

Elaboración: La autora.

VI. Iniciado el nuevo proyecto, se tuvo que crear un sector y un carril respectivamente, en este caso se crearon 2 sectores y 2 carriles (derecho e izquierdo).

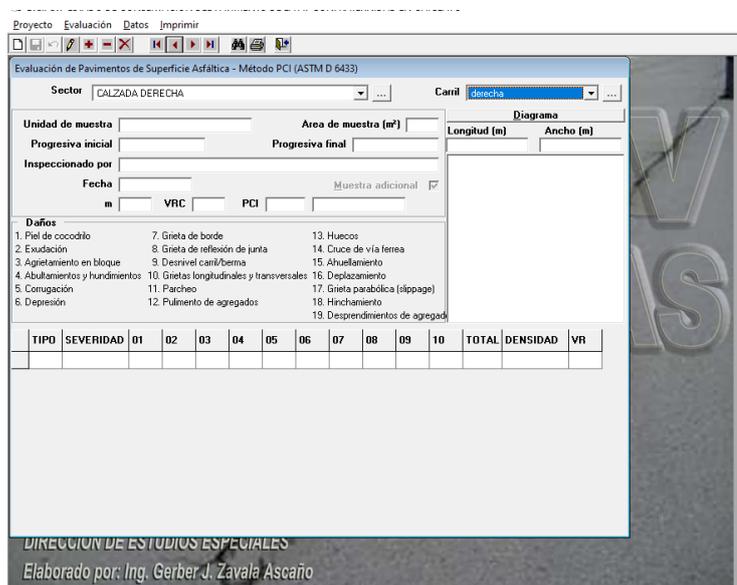


Figura 14. Entrada de Evalpav.

Elaboración: La autora.

VII. A continuación, se exportan las muestras con la herramienta Datos, Exportar. Se selecciona el documento en Excel, en el cual se encuentran las muestras explicadas en el paso IV. Luego de seleccionar el documento

que contiene los datos de muestra, aparece el siguiente cuadro, que permite conocer el PCI de la muestra respectiva; esto se hará repetidamente para las 20 muestras.

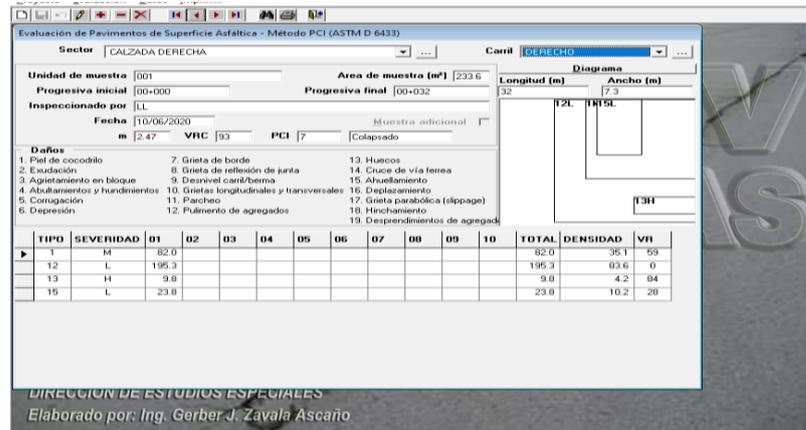


Figura 15. Resultado de Evalpav por muestra.

Elaboración: La autora.

VIII. Para hallar el PCI de toda la muestra, se utilizó la herramienta Datos, Exportar. Se elige la opción Resumen, para encontrar el PCI y la media de todas las muestras.

Tabla 29. Datos de PCI de muestras.

AREA (m ²)	UNIDAD DE MUESTRA	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	m	VRC	PCI	CLASIFICACION
233.6	1	00+000	00+032	2.5	93	7	Colapsado
233.6	2	00+064	00+096	2.2	97	3	Colapsado
233.6	3	00+128	00+160	3.5	100	0	Colapsado
233.6	4	00+192	00+224	4.6	90	10	Muy Pobre
233.6	5	00+256	00+288	2.2	96	4	Colapsado
233.6	6	00+320	00+352	2.7	91	9	Colapsado
233.6	7	00+384	00+416	2.8	96	4	Colapsado
233.6	8	00+448	00+480	4.9	64	36	Pobre
233.6	9	00+512	00+544	2.6	88	12	Muy Pobre
175.2	10	00+576	00+600	2.5	100	0	Colapsado

Elaboración: La autora.

IX. Finalmente, se procedió a conocer la media, para hallar el PCI de cada Calzada:

Tabla 30. Resumen de PCI de Calzada Derecha.

UNIDAD DE MUESTRA	PCI	CLASIFICACION
CD 1	7	Colapsado
CD 2	3	Colapsado
CD 3	0	Colapsado
CD 4	10	Muy Pobre
CD 5	4	Colapsado
CD 6	9	Colapsado
CD 7	4	Colapsado
CD 8	36	Pobre
CD 9	12	Muy Pobre
CD 10	0	Colapsado
Resumen	8.5	Colapsado

Elaboración: La autora.

Tabla 31. Resumen de PCI de Calzada Izquierda.

UNIDAD DE MUESTRA	PCI	CLASIFICACION
CI 1	50	Regular
CI 2	41	Regular
CI 3	100	Excelente
CI 4	100	Excelente
CI 5	24	Muy Pobre
CI 6	9	Colapsado
CI 7	58	Bueno
CI 8	34	Pobre
CI 9	16	Muy Pobre
CI 10	4	Colapsado
Resumen	43.6	Regular

Elaboración: La autora.

- X. Para calcular el promedio del PCI, se halló el promedio general de las unidades de muestra, obteniendo el valor promedio de PCI igual a 26, y clasificándolo como MALO.

Tabla 32. Clasificación de la muestra a través del PCI.

CD 1	7	Colapsado
CD 2	3	Colapsado
CD 3	0	Colapsado
CD 4	10	Muy Pobre
CD 5	4	Colapsado
CD 6	9	Colapsado
CD 7	4	Colapsado
CD 8	36	Pobre
CD 9	12	Muy Pobre
CD 10	0	Colapsado
CI 1	50	Regular
CI 2	41	Regular
CI 3	100	Excelente
CI 4	100	Excelente
CI 5	24	Muy Pobre
CI 6	9	Colapsado
CI 7	58	Bueno
CI 8	34	Pobre
CI 9	16	Muy Pobre
CI 10	4	Colapsado
PCI DE LA MUESTRA	26	Pobre/Malo

Elaboración: La autora.

4.2.3 Aplicación del Ensayo de la Viga Benkelman.

Se trabajaron con 6 puntos referenciales por calzada, es decir un total de 12 puntos referenciales, de los cuales se obtuvieron los datos que serán procesados.

Se inició en la progresiva 0+100 y se finalizó en la progresiva 0+600 de la calzada derecha e izquierda.

4.2.3.1 Medición de las deflexiones

Las características del modelo de Viga Benkelman con el que fue simulado el ensayo fueron las siguientes:

Tabla 33. Características de la Viga Benkelman referencial.

Relación de brazo	02:01
Dial de precisión	0.002 mm
Longitud de brazo de prueba del pivote al punto de prueba	2.44 m +/- 50 mm
Longitud de brazo de prueba del pivote hasta el extensómetro	1.22 m +/- 50 mm
Distancia desde el pivot hasta las patas delanteras	254 mm
Distancia desde el pivot hasta las patas posteriores	1.664 m

Fuente: Balarezo, 2017.

Se seleccionaron puntos a cada 100 metros en las dos calzadas iniciando desde la progresiva 0+100 y finalizando en la progresiva 0+600, es decir se tomaron 12 puntos de muestra; además al medir 3.65 m cada carril, se tomó una distancia de ensayo de 0.90 m desde el fin de la berma hacia dentro del carril.

Tabla 34. Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento.

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2.70 m	0.45 m
3.00 m	0.60 m
3.30 m	0.75 m
3.60 m o más	0.90 m

Fuente: Balarezo, 2017.



Figura 16. Ubicación del punto de evaluación.

Elaboración: La autora.

Luego, se realizaron las mediciones a diferentes distancias; siendo la primera medición la deflexión máxima, seguida a ello 3 lecturas adicionales a diferentes distancias; las cuales se eligieron a cada 25, 40 ,70 cm (L25, L40, L70 y LMáx.). Se obtuvieron las siguientes lecturas referenciales.

Punto	Calzada	Lecturas de campo (en 10^{-3} pulgadas)			
		L25	L40	L70	Lmáx
0+100	Derecho	2	3	4	6
0+200	Derecho	1	3	4	6
0+300	Derecho	2	3	5	6
0+400	Derecho	2	3	4	6
0+500	Derecho	2	4	5	10
0+600	Derecho	2	3	5	6
0+100	Izquierdo	1	3	5	6
0+200	Izquierdo	1	4	5	7
0+300	Izquierdo	2	3	5	6
0+400	Izquierdo	1	3	4	5
0+500	Izquierdo	2	3	4	5
0+600	Izquierdo	2	4	5	10

Tabla 35. Lecturas referenciales del ensayo de la Viga Benkelman.

Elaboración: La autora.

Se hallaron las deflexiones, mediante la fórmula de la viga simple, con los datos de la tabla anterior.

Se utiliza el caso de la D25 para el punto 0+100 de la calzada derecha y L25. Se muestra el siguiente ejemplo:

- L25= 2 pulgadas
- LMax = 6 pulgadas
- RB= 1:2

$$D25 = (6'' - 2'') \times 2 \times 2.54 \text{ cm} \times 10^{-2}$$

$$D25 = 0.203$$

Del mismo modo, se calculó para todos los E25, E40 Y E70; sin embargo, para el caso de la Dmáx no se resta Emáx; y se multiplica directamente con la relación de brazo.

Tabla 36. Deflexiones halladas.

Punto	Calzada	Deflexiones (en 10 ⁻² mm)			
		D25	D40	D70	Dmáx
0+100	Derecho	0.203	0.1524	0.102	0.305
0+200	Derecho	0.254	0.1524	0.102	0.305
0+300	Derecho	0.203	0.1524	0.051	0.305
0+400	Derecho	0.203	0.1524	0.102	0.305
0+500	Derecho	0.406	0.3048	0.254	0.508
0+600	Derecho	0.203	0.1524	0.051	0.305
0+100	Izquierdo	0.254	0.1524	0.051	0.305
0+200	Izquierdo	0.305	0.1524	0.102	0.356
0+300	Izquierdo	0.203	0.1524	0.051	0.305
0+400	Izquierdo	0.203	0.1016	0.051	0.254
0+500	Izquierdo	0.152	0.1016	0.051	0.254
0+600	Izquierdo	0.406	0.3048	0.254	0.508

Elaboración: La autora.

Se realizaron las correcciones por temperatura, las cuales fueron diferentes para cada punto.

Mediante la siguiente fórmula:

$$Dt = (\text{Deflexiones de campo}) / ((1 \times 10^{-3} \times 1 / \text{Cm}^\circ \text{CxEx} (T - 20^\circ)) + 1)$$

Se procedió a utilizar el primer dato para hallar la deflexión corregida por temperatura; se muestra el siguiente ejemplo:

- Deflexión de campo 0+100 de D25 = 0.203
- Temperatura tomada en campo = 36.3°
- E= Espesor teórico de la carpeta, la cual usaremos a 15 cm
- Tenemos:

$$Dt = (0.203) / ((1 \times 10^{-3} \times 1 / \text{Cm}^\circ \text{Cx} 15 \times (36.3 - 20^\circ)) + 1)$$

$$Dt = 0.163 \text{ en } 10^{-2} \text{ mm}$$

Del mismo modo, se realizó el proceso para cada deflexión de campo de acuerdo con el valor de temperatura tomada en el punto respectivo, el desarrollo de todos los puntos se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 37. Deflexiones corregidas.

Punto	Calzada	Punto	Deflexiones corregidas (en 10 ⁻² mm)				Temperatura	Espesor en Cm
			D25	D40	D70	Dmáx		
0+100	Derecho	0+100	0.163	0.122	0.082	0.245	36.3	15
0+200	Derecho	0+200	0.180	0.108	0.072	0.216	47.5	15
0+300	Derecho	0+300	0.163	0.122	0.041	0.244	36.5	15
0+400	Derecho	0+400	0.145	0.108	0.072	0.217	47	15
0+500	Derecho	0+500	0.325	0.243	0.203	0.406	36.8	15
0+600	Derecho	0+600	0.145	0.109	0.036	0.218	46.7	15
0+100	Izquierdo	0+100	0.207	0.124	0.041	0.248	35.3	15
0+200	Izquierdo	0+200	0.218	0.109	0.073	0.254	46.7	15
0+300	Izquierdo	0+300	0.154	0.116	0.039	0.231	41.2	15
0+400	Izquierdo	0+400	0.161	0.080	0.040	0.201	37.6	15
0+500	Izquierdo	0+500	0.116	0.077	0.039	0.193	41.2	15
0+600	Izquierdo	0+600	0.316	0.237	0.197	0.395	39.1	15

Elaboración: La autora.

4.2.3.2 Nomogramas

Antes de utilizar los nomogramas analiza el modelo de Hogg. Se calculó el Radio de Huella utilizando la siguiente fórmula:

$$A = \sqrt{\frac{P}{\pi p}}$$

Reemplazando, $P = 4500$ y $p = 80$ se obtiene un valor de 4.23 pulgadas, expresado en centímetros se obtuvo un total de 10.7 cm.

El modelo de Hogg, considera una variable H , se le define como la profundidad infinita o finita de una capa rígida, que en este caso es la subrasante. Para el uso de nomogramas, es importante delimitar la variable H , ya que de lo contrario la extensión de las curvas de las deflexiones sería infinita y se estaría contraindicando con los resultados hallados.

Para un correcto desarrollo del modelo de Hogg se asumió que el tamaño de la constante H sea 10 y 20 veces igual a la Longitud Característica.

Se usaron 2 nomogramas para hallar los parámetros de evaluación. Primero, se utiliza el Nomograma 1. D_r/D_o vs R , que facilita determinar el valor de la Longitud Característica en cada punto de muestra; es importante resaltar que se usaron nomogramas para $H/L_0 = 10$ y $H/L_0 = 20$, así como para las curvas de $L_0 = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ y 100 . Además de un valor de $A = 10.7$ (modelo de carga).

En primer lugar, se halló la relación D_r/D_o , por ejemplo, para el punto 0+100 de la calzada derecha utilizando $r = 25$, se obtuvo lo siguiente:

- $D_r = 0.163 \times 10^{-2}$ mm
- $D_o = 0.245 \times 10^{-2}$ mm
- $D_r/D_o = 0.667$

El siguiente paso fue utilizar el nomograma1 D_r/D_o vs R , para $H/L = 10$ y $H/L = 20$, que al intersectar el valor de la relación D_r/D_o y el

valor de R para la distancia que corresponda, se hallò la longitud característica en cada punto.

En el caso de la relación $Dr/Do= 0.667$ y un R de 25, se ubica el punto en la curva de la izquierda más próxima.

Donde tenemos :

- $Dr/Do=0.667$
- $R=25$ cm

Como se observa en la figura 17, el punto donde coincide, corresponde al resultado de la Longitud característica, en este caso la Longitud Caràcterística es igual a $Lo = 17.8$

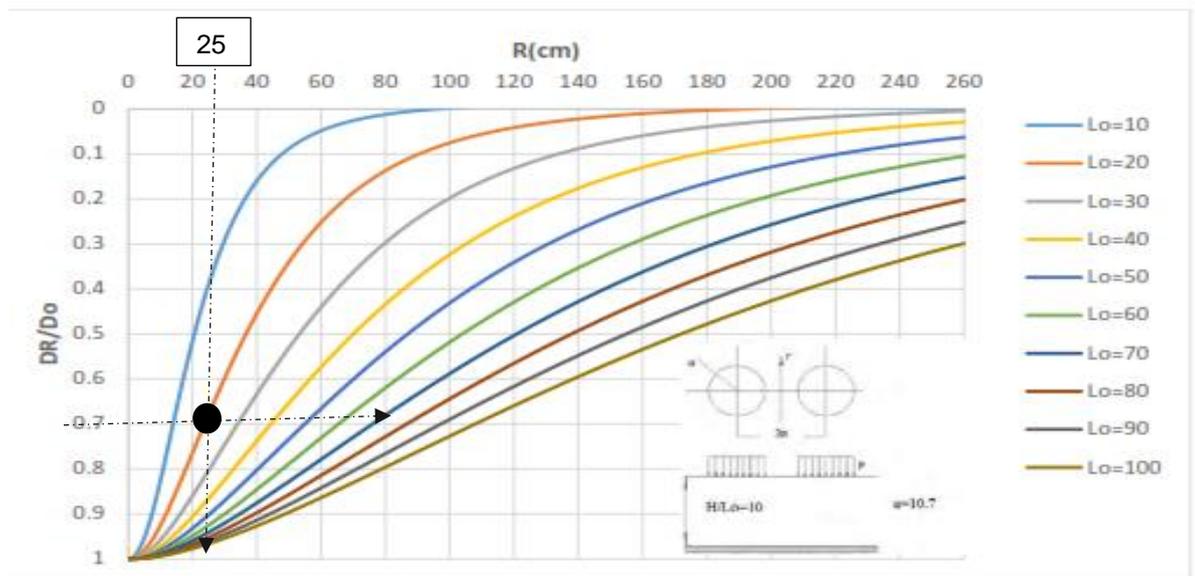


Figura 17. Uso del Nomograma 1 Dr/Do vs R para $H/Lo=10$.

Fuente: Balarezo, 2017.

De la misma forma, se utilizó para el nomograma 1 para $H/L=20$, en el cual tenemos:

- $Dr/Do=0.667$
- $R= 25$ cm

- Tal como se demuestra en la figura 18 ,el punto donde coincide es el resultado de la Longitud característica, en este caso la Longitud Caràterística es igual a $Lo = 16.80$.

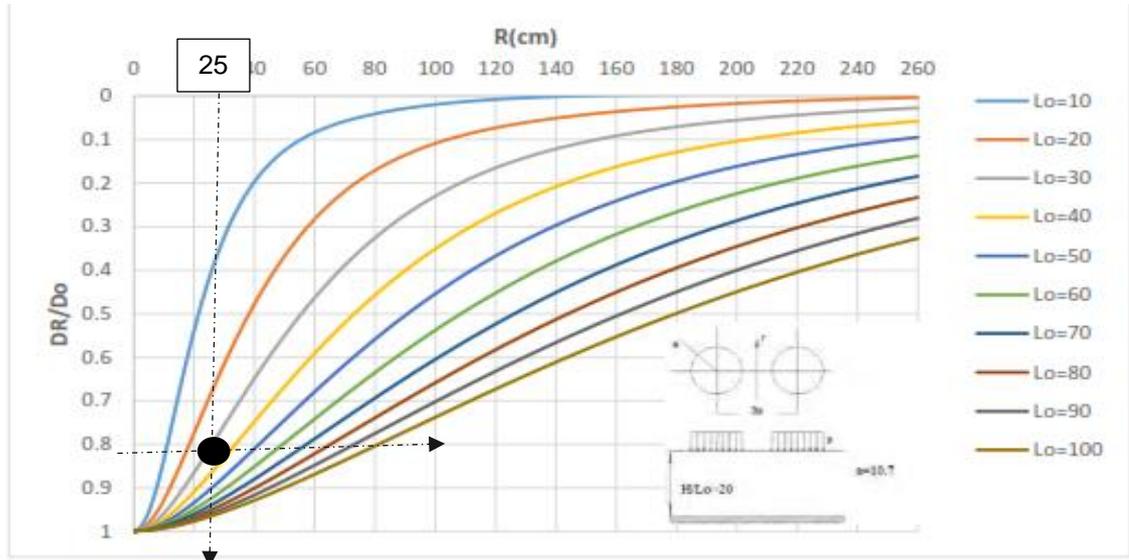


Figura 18. Uso del Nomograma 2 Dr/Do vs R para $H/Lo=20$.

Fuente: Balarezo, 2017.

Como siguiente paso, se calculó la Longitud Característica promedio, en este caso la Longitud Característica promedio es de 17.30.

De la misma forma se usa el nomograma 1 para todos los puntos con $R=25$, $R= 40$ y $R=70$, se obtuvo :

Tabla 38. Resultado de la Longitud Característica promedio en R=25.

Longitud característica				
Punto	Dr/Do	r=25 cm		Promedio
		H/L0= 10	H/L0= 20	
0+100	0.667	17.80	16.80	17.30
0+200	0.833	32.30	30.50	31.40
0+300	0.667	17.80	16.80	17.30
0+400	0.667	17.80	16.80	17.30
0+500	0.800	28.50	27.50	28.00
0+600	0.667	17.80	16.80	17.30
0+100	0.833	32.30	30.50	31.40
0+200	0.857	36.80	35.10	35.95
0+300	0.667	17.80	16.80	17.30
0+400	0.800	28.50	27.50	28.00
0+500	0.600	14.50	13.00	13.75
0+600	0.800	28.50	27.50	28.00

Elaboración: La autora.

Tabla 39. Resultado de la Longitud Característica promedio en R=40.

Longitud característica				
Punto	Dr/Do	r=40 cm		Promedio
		H/L0= 10	H/L0= 20	
0+100	0.500	20.20	19.80	20.00
0+200	0.500	20.20	19.80	20.00
0+300	0.500	20.20	19.80	20.00
0+400	0.500	26.70	25.50	26.10
0+500	0.600	20.20	19.80	20.00
0+600	0.500	20.20	19.80	20.00
0+100	0.500	16.90	15.00	15.95
0+200	0.429	20.20	19.80	20.00
0+300	0.500	16.30	15.00	15.65
0+400	0.400	16.30	15.00	15.65
0+500	0.400	26.70	25.50	26.10
0+600	0.600	20.20	19.80	20.00

Elaboración: La autora.

Tabla 40. Resultado de la Longitud Característica promedio en R=70.

Longitud característica				
Punto	Dr/Do	r=70 cm		Promedio
		H/L0= 10	H/L0= 20	
0+100	0.333	26.30	24.50	25.40
0+200	0.333	26.30	24.50	25.40
0+300	0.167	16.70	14.80	15.75
0+400	0.333	26.30	24.50	25.40
0+500	0.500	38.20	36.50	37.35
0+600	0.167	16.70	14.80	15.75
0+100	0.167	16.70	14.80	15.75
0+200	0.286	23.30	21.90	22.6
0+300	0.167	16.70	14.80	15.75
0+400	0.200	19.10	17.00	18.05
0+500	0.200	19.10	17.00	18.05
0+600	0.500	41.20	36.50	38.85

Elaboración: La autora.

Como siguiente paso, se procedió a realizar las respectivas comparaciones para saber cuál es la relación Dr/Do de R= 25, 40 o 70 cm. que se acerca más al valor de 0.5. Se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 41. Elección de relaciones Dr/Do cercanos a 0.5.

Punto	Dr/Do	Longitud Característica		
		Dr/Do que se acerca más al 0.5		
		R=25	R=40	R=70
0+100	0.5		X	
0+200	0.5		X	
0+300	0.5		X	
0+400	0.5		X	
0+500	0.5			X
0+600	0.5		X	
0+100	0.5		X	
0+200	0.5		X	
0+300	0.5		X	
0+400	0.429		X	
0+500	0.5		X	
0+600	0.4			X

Elaboración: La autora.

Nomograma 2- Lo vs Dr/Do vs DoxEo. Para el empleo del nomograma 2 es necesario conocer el valor Dr y Do de cada punto seleccionado en la tabla anterior, para que, junto a la longitud característica seleccionada, se encuentre el valor del Módulo de elasticidad Eo.

Tabla 42. Do, Dr y Lo seleccionados para el nomograma 2.

Punto	Do (mm)	Dr (mm)	Lo
0+100	0.245	0.122	20.000
0+200	0.216	0.108	20.000
0+300	0.244	0.122	20.000
0+400	0.217	0.108	26.100
0+500	0.406	0.203	37.350
0+600	0.218	0.109	20.000
0+100	0.248	0.124	15.950
0+200	0.254	0.109	20.000
0+300	0.231	0.116	15.650
0+400	0.201	0.080	15.650
0+500	0.193	0.077	26.100
0+600	0.395	0.197	38.850

Elaboración: La autora.

A continuación, se usó el Nomograma 2- Lo vs Dr/Do vs DoxEo para el valor R que corresponda, solo se usaron los valores R = 40 (10 veces), y R = 70 (2 veces). Se detalla el siguiente ejemplo:

- Punto: Calzada Derecha 0+100
- Dr = 0.122
- Do/ = 0.245
- Dr /Do=0.5
- Lo = 20.00
- R = 40

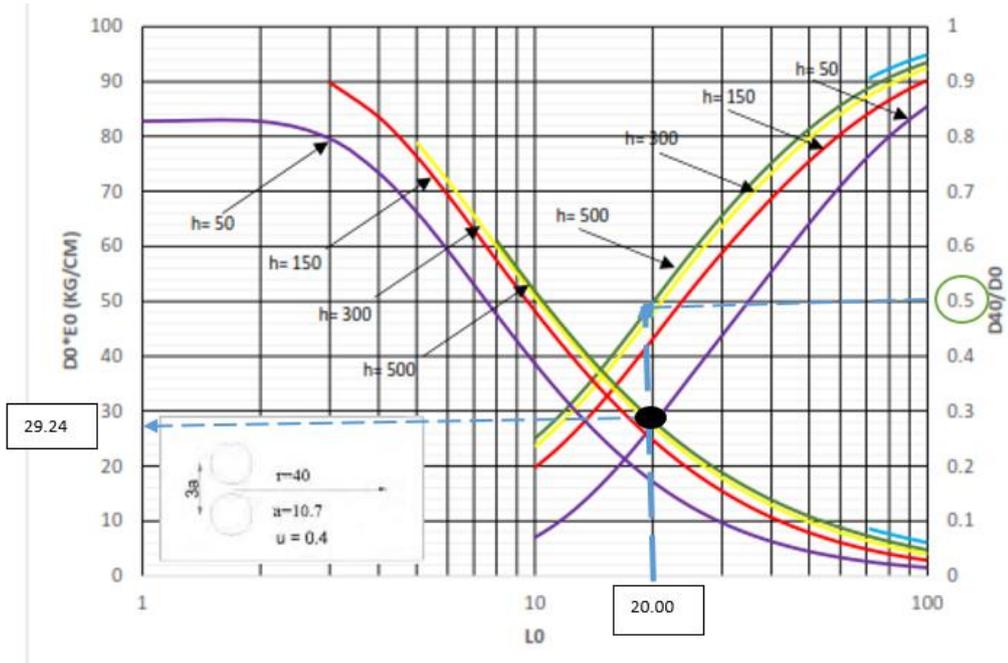


Figura 19. Aplicación del 2do Nomograma.

Fuente: Balarezo, 2017.

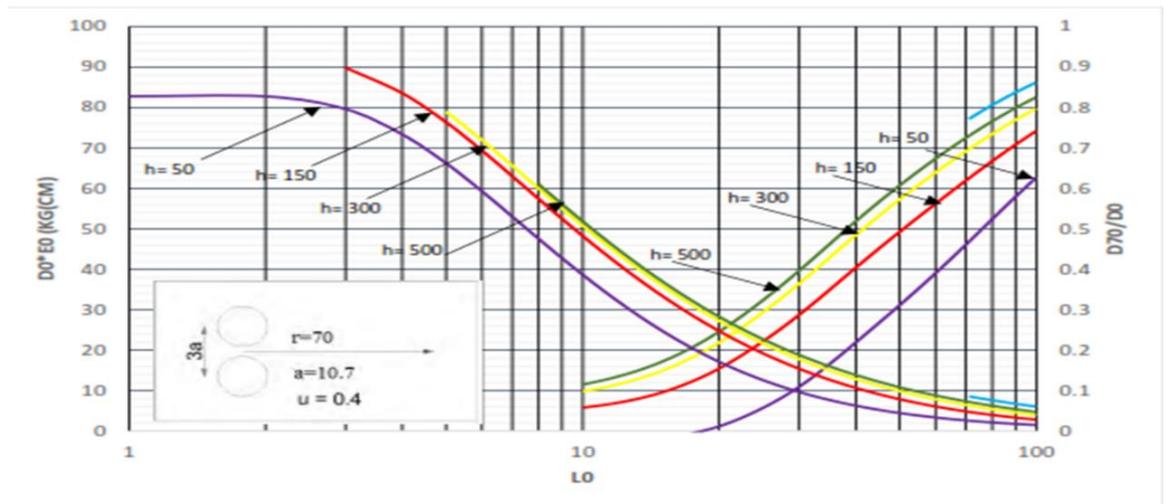


Figura 20. Nomograma R=70.

Fuente: Balarezo, 2017.

Tal como se observa en el nomograma 2 usado en el ejemplo, el punto encontrado tiene un valor de 29.24. El nomograma $r=70$ se muestra en la Figura 20.

Luego, se halló el valor de E_0 , en el cual el valor obtenido en el nomograma 2 se divide con el valor D_0 , continuando con el ejemplo:

- $E_o = 29.24 \text{ cm} / 0.245 \text{ mm} = 1193.87 \text{ kg/cm}^2$

Se realizó el mismo procedimiento para los siguientes puntos encontrados, 10 en r=40 y 2 en r=70.

De este modo se obtiene el siguiente cuadro, donde se hallaron los valores E_o de todos los puntos.

Tabla 43. Resultados de E_o .

Calzada	Punto	Do (mm)	Dr (mm)	Lo	Punto en las curvas	E_o (kg/cm ²)
Derecha	0+100	0.245	0.122	20.000	29.24	1193.87
Derecha	0+200	0.216	0.108	20.000	29.24	1355.04
Derecha	0+300	0.244	0.122	20.000	29.24	1196.75
Derecha	0+400	0.217	0.108	26.100	26.71	1231.22
Derecha	0+500	0.406	0.203	37.350	18.47	455.21
Derecha	0+600	0.218	0.109	20.000	29.24	1343.52
Izquierda	0+100	0.248	0.124	15.950	16.84	679.29
Izquierda	0+200	0.254	0.109	20.000	29.24	1151.59
Izquierda	0+300	0.231	0.116	15.650	18.71	809.05
Izquierda	0+400	0.201	0.080	15.650	18.71	931.08
Izquierda	0+500	0.193	0.077	26.100	26.71	1385.98
Izquierda	0+600	0.395	0.197	38.850	19.35	490.03

Elaboración: La autora.

4.2.3.3 Determinación del módulo de Elasticidad y CBR

Para hallar el valor de CBR es importante conocer el Módulo de Elasticidad de la subrasante Esg. Se determinó el valor E_o para cada punto de muestra en el subtítulo anterior, el cual se relaciona directamente con un factor $K=110$, para suelos granulares finos.

Tal como lo señala Heukelom y Klomp (1962), $Esg = (100 - 160) \times CBR$.

En este caso se trabajó con un $K = 110$, por el cual se encuentra el valor Esg a partir del E_o .

$$Esg = E_o * K / 100 (\% \text{ del CBR})$$

Se determinó el valor de Esg para el primer punto, usamos como ejemplo el valor de $E_o = 1193.87$. En este caso sería:

$$Esg = 1193.87 \times 110 / 100$$

$$Esg = 1313.26 \text{ kg/cm}^2$$

En el paso siguiente, se calcula el CBR, al obtener el valor Esg:

$$1313.26 = CBR / 110$$

$$CBR = 11.94\%$$

Del mismo modo, se realizó el mismo procedimiento con los demás puntos para calcular el valor de CBR de cada punto, se procesaron los resultados, así como se muestra en la tabla 27.

Tabla 44. Resultados CBR.

Calzada	Punto	Módulo de la Elasticidad de la subrasante Esg (Kg/cm ²)	Valor del CBR(%) a K 110
Derecha	0+100	1313.26	11.94
Derecha	0+200	1490.54	13.55
Derecha	0+300	1316.42	11.97
Derecha	0+400	1354.34	12.31
Derecha	0+500	500.73	4.55
Derecha	0+600	1477.88	13.44
Izquierda	0+100	747.22	6.79
Izquierda	0+200	1266.75	11.52
Izquierda	0+300	889.95	8.09
Izquierda	0+400	1024.19	9.31
Izquierda	0+500	1524.57	13.86
Izquierda	0+600	539.04	4.90
PROMEDIO			10

Elaboración: La autora.

La muestra tiene un valor de CBR total de 10%, denominándola como BUENA, este valor se halla calculando el promedio de los valores que se obtuvieron en los puntos de muestra.

De esta manera, se hallaron los 2 parámetros de evaluación del Ensayo de la Viga Benkelman.

4.2.3.4 Estado de la Subrasante

Tal como se explica en los puntos anteriores, se logró obtener el valor del CBR. A partir de los datos obtenidos, se procedió a clasificar el pavimento según su estado de acuerdo al valor del CBR; para ello se utilizó la clasificación publicada por el MTC (2014), obteniéndose el siguiente cuadro:

Tabla 45. Clasificación de Resultados.

Calzada	Punto	Valor del CBR(%) a K 110	Clasificación
Derecha	0+100	11.94	BUENA
Derecha	0+200	13.55	BUENA
Derecha	0+300	11.97	BUENA
Derecha	0+400	12.31	BUENA
Derecha	0+500	4.55	POBRE
Derecha	0+600	13.44	BUENA
Izquierda	0+100	6.79	REGULAR
Izquierda	0+200	11.52	BUENA
Izquierda	0+300	8.09	REGULAR
Izquierda	0+400	9.31	REGULAR
Izquierda	0+500	13.86	BUENA
Izquierda	0+600	4.90	POBRE
Promedio		10	REGULAR / BUENA

Elaboración: La autora.

CAPÍTULO V RESULTADOS

5.1 Estado de conservación vial

De acuerdo con el diagnóstico del Pavimento flexible y aplicando la Metodología PCI en la avenida Confraternidad del Pueblo Joven Ricardo Palma – Chiclayo, con el uso del Software EvalPav se alcanzaron los siguientes resultados por cada unidad de muestra, tal como se muestran en las tablas 29 y 30.

En esta sección, se presentan los resultados de las dos secciones:

Calzada Derecha:

Tabla 46. Resumen de datos obtenidos por método PCI para la Calzada Derecha.

AREA (m ²)	UNIDAD DE MUESTRA	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	PCI	CLASIFICACION
233.6	CD 1	00+000	00+032	7	Colapsado
233.6	CD 2	00+064	00+096	3	Colapsado
233.6	CD 3	00+128	00+160	0	Colapsado
233.6	CD 4	00+192	00+224	10	Muy Pobre
233.6	CD 5	00+256	00+288	4	Colapsado
233.6	CD 6	00+320	00+352	9	Colapsado
233.6	CD 7	00+384	00+416	4	Colapsado
233.6	CD 8	00+448	00+480	36	Pobre
233.6	CD 9	00+512	00+544	12	Muy Pobre
175.2	CD 10	00+576	00+600	0	Colapsado

Elaboración: La autora.

A continuación, se presenta un resumen de Índice de Condición del Pavimento de cada unidad de muestra, obtenido en la calzada derecha; además de su estado de conservación correspondiente.

Tabla 47. Índice de condición del pavimento en la Calzada Derecha.

UNIDAD DE MUESTRA	PCI	CLASIFICACION
CD 1	7	Colapsado
CD 2	3	Colapsado
CD 3	0	Colapsado
CD 4	10	Muy Pobre
CD 5	4	Colapsado
CD 6	9	Colapsado
CD 7	4	Colapsado
CD 8	36	Pobre
CD 9	12	Muy Pobre
CD 10	0	Colapsado
	9	Colapsado

Elaboración: La autora.



Figura 21. Gráfica de datos obtenidos (PCI) para la calzada derecha.

Elaboración: La autora.

Como resumen tenemos que, el Índice de Condición del Pavimento en la calzada derecha fue de 9, con un estado de conservación del pavimento Colapsado.

Calzada Izquierda:

Tabla 48. Resumen de datos obtenidos por método PCI para la Calzada Izquierda.

AREA (m ²)	UNIDAD DE MUESTRA	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	PCI	CLASIFICACION
233.6	CI 1	00+000	00+032	50	Regular
233.6	CI 2	00+064	00+096	41	Regular
233.6	CI 3	00+128	00+160	100	Excelente
233.6	CI 4	00+192	00+224	100	Excelente
233.6	CI 5	00+256	00+288	24	Muy Pobre
233.6	CI 6	00+320	00+352	9	Colapsado
233.6	CI 7	00+384	00+416	58	Bueno
233.6	CI 8	00+448	00+480	34	Pobre
233.6	CI 9	00+512	00+544	16	Muy Pobre
175.2	CI 10	00+576	00+600	4	Colapsado

Elaboración: La autora.

A continuación, se presenta un resumen de Índice de Condición del Pavimento de cada unidad de muestra, obtenidas en la calzada izquierda; además de su estado de conservación.

Tabla 49. Índice de condición del pavimento en la Calzada Izquierda.

UNIDAD DE MUESTRA	PCI	CLASIFICACION
CI 1	50	Regular
CI 2	41	Regular
CI 3	100	Excelente
CI 4	100	Excelente
CI 5	24	Muy Pobre
CI 6	9	Colapsado
CI 7	58	Bueno
CI 8	34	Pobre
CI 9	16	Muy Pobre
CI 10	4	Colapsado
Resumen	43.6	Regular

Elaboración: La autora.

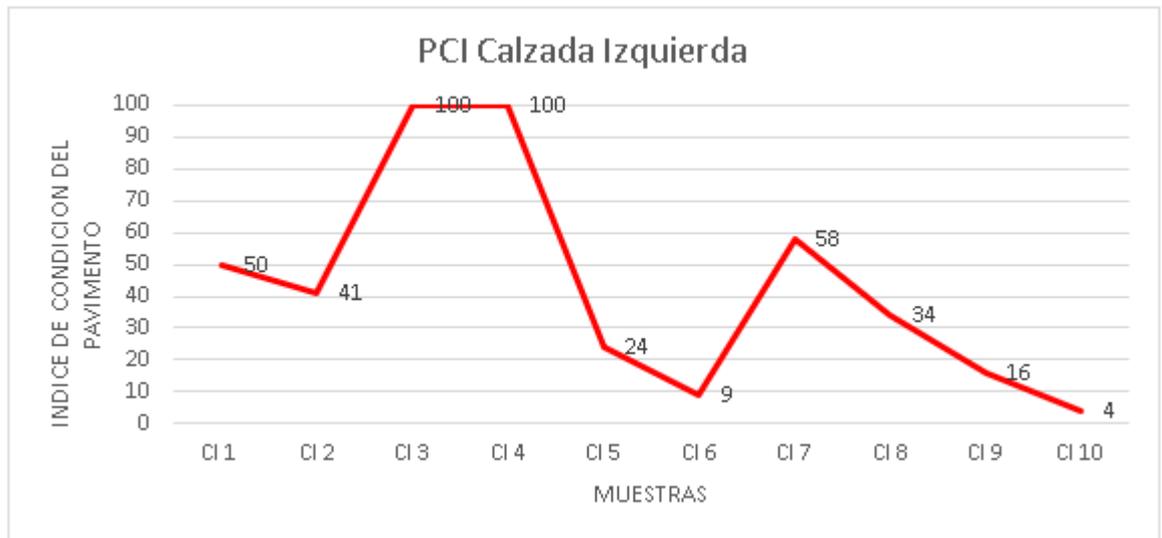


Figura 22. Gráfica de datos obtenidos por método PCI para la calzada izquierda.

Elaboración: La autora.

Como resumen, el Índice de Condición del Pavimento en la calzada izquierda obtuvo un valor de 43.6, con un estado de conservación del pavimento Regular. Finalmente, en la calzada derecha e izquierda, se obtuvo un PCI total de 26, clasificándolo como malo.

Tabla 50. Índice de condición del pavimento en la Calzada Derecha e Izquierda.

CD 1	7	Colapsado
CD 2	3	Colapsado
CD 3	0	Colapsado
CD 4	10	Muy Pobre
CD 5	4	Colapsado
CD 6	9	Colapsado
CD 7	4	Colapsado
CD 8	36	Pobre
CD 9	12	Muy Pobre
CD 10	0	Colapsado
CI 1	50	Regular
CI 2	41	Regular
CI 3	100	Excelente
CI 4	100	Excelente
CI 5	24	Muy Pobre
CI 6	9	Colapsado
CI 7	58	Bueno
CI 8	34	Pobre
CI 9	16	Muy Pobre
CI 10	4	Colapsado
PCI DE LA MUESTRA	26	Pobre/Malo

Elaboración: La autora.

Ahora, en las siguientes gráficas se detalla la incidencia que tuvo cada tipo de falla en todas las unidades de muestra, tanto en la calzada derecha e izquierda.

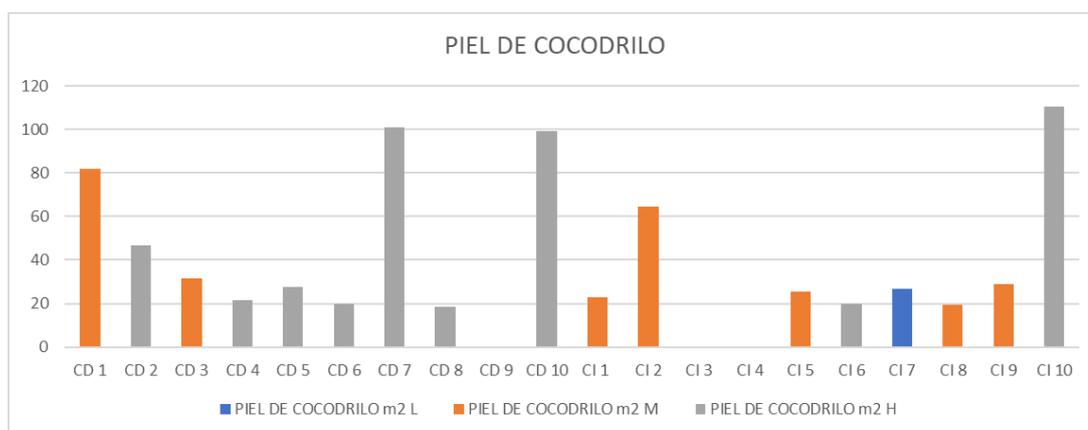


Figura 23. Piel de cocodrilo en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

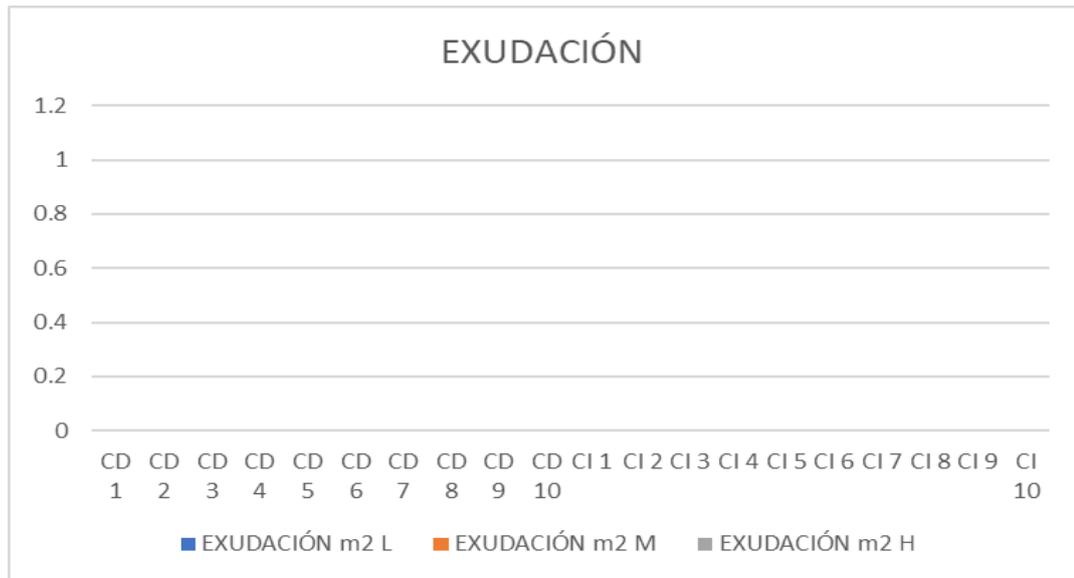


Figura 24. Exudación en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

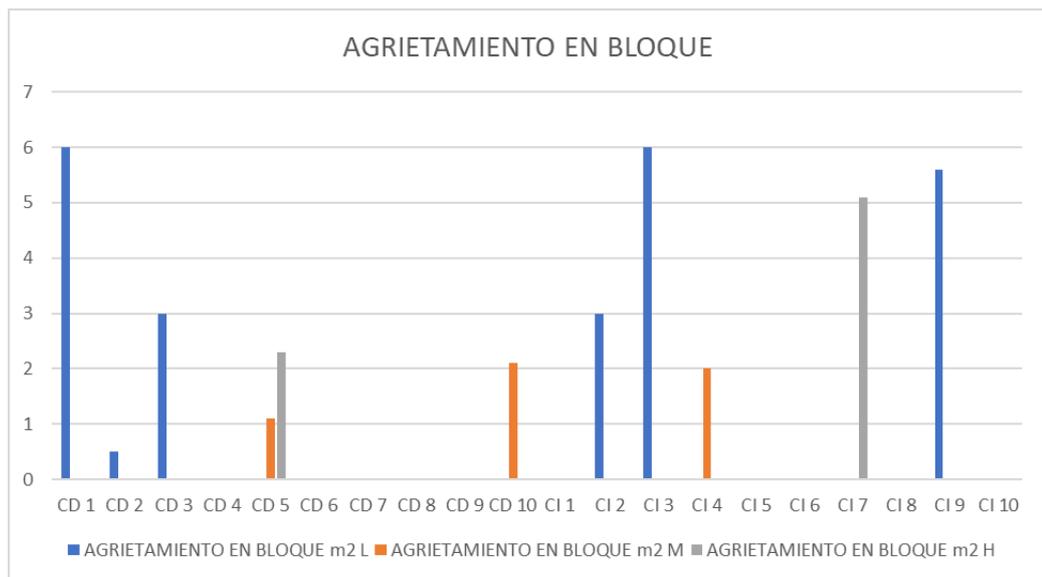


Figura 25. Agrietamiento en Bloque en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.



Figura 26. Abultamiento y hundimientos en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

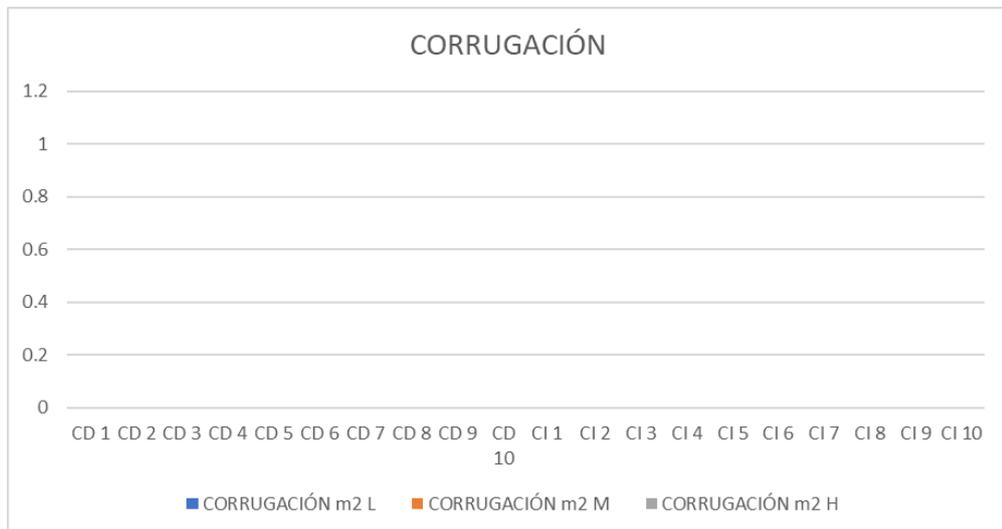


Figura 27. Corrugación en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

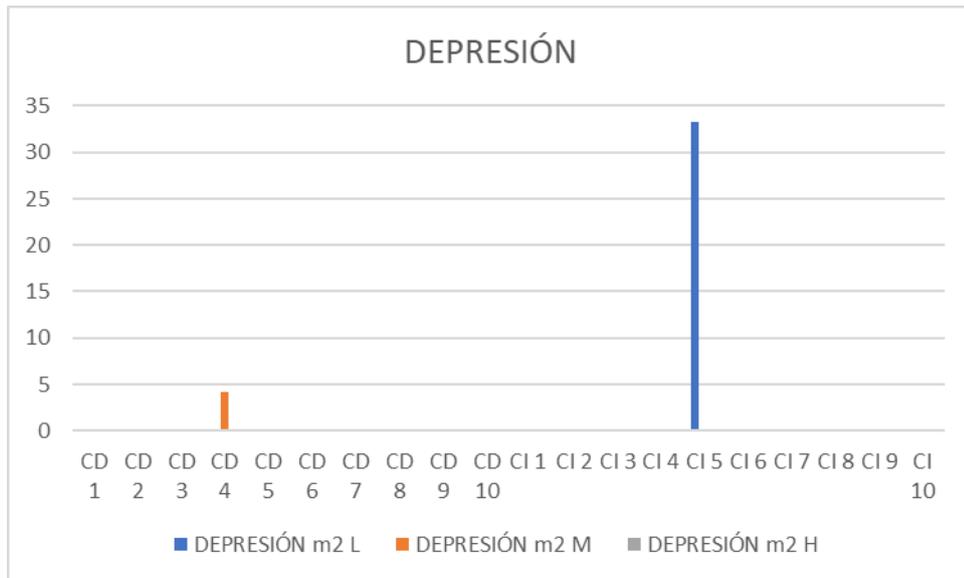


Figura 28. Depresión en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

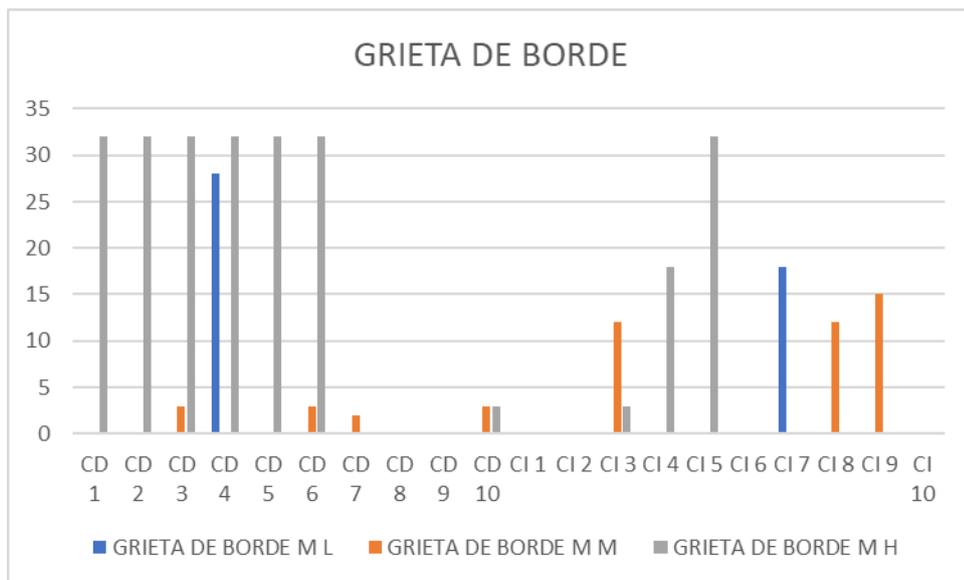


Figura 29. Grieta de borde en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

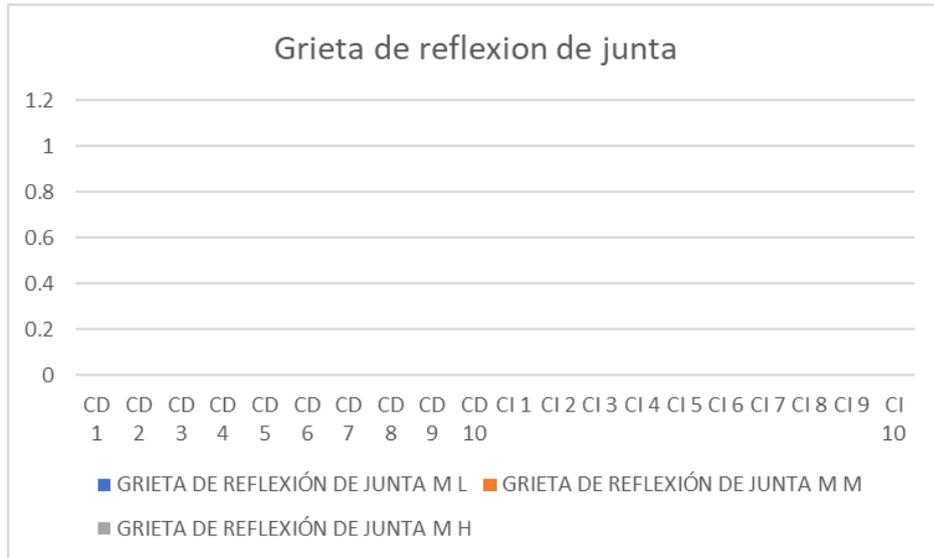


Figura 30. Grieta de reflexión de junta en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

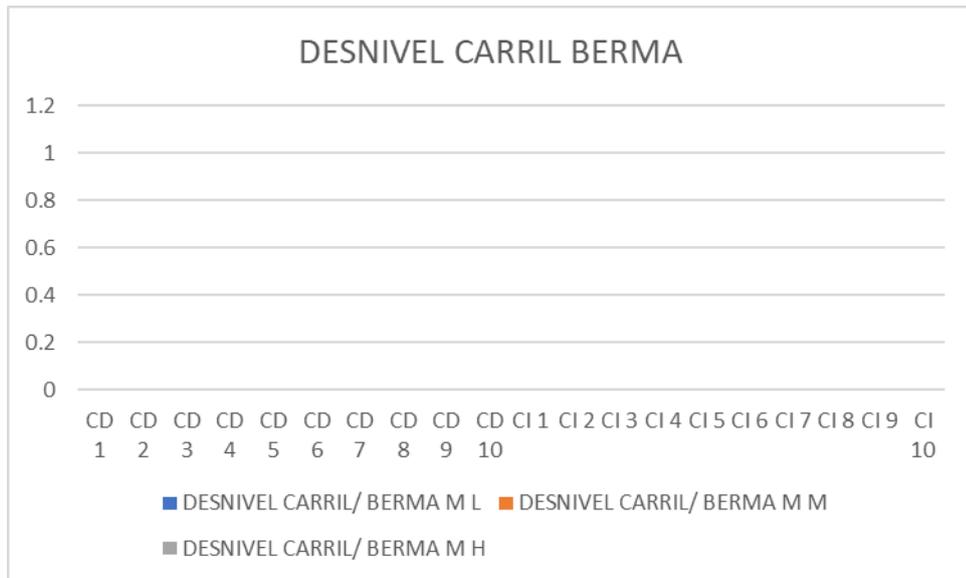


Figura 31. Desnivel carril berma en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

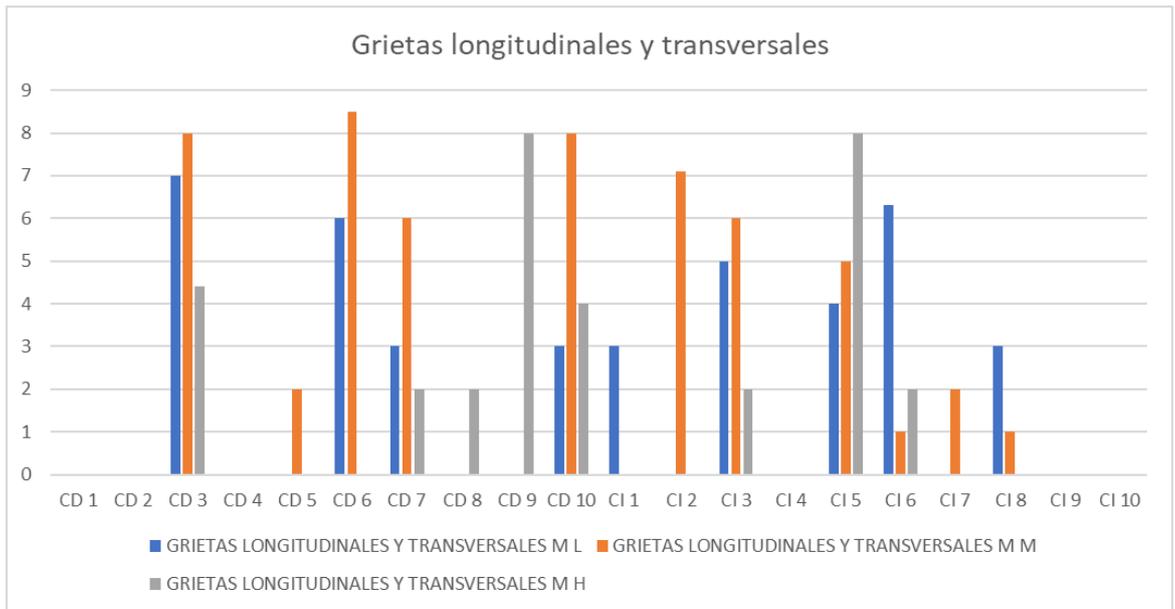


Figura 32. Grietas longitudinales y transversales en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

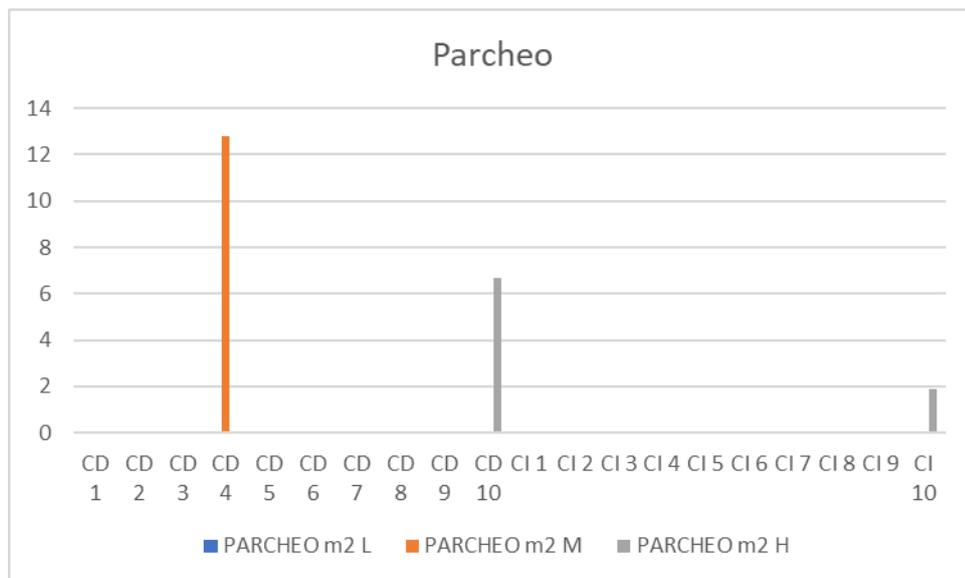


Figura 33. Parcheo en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

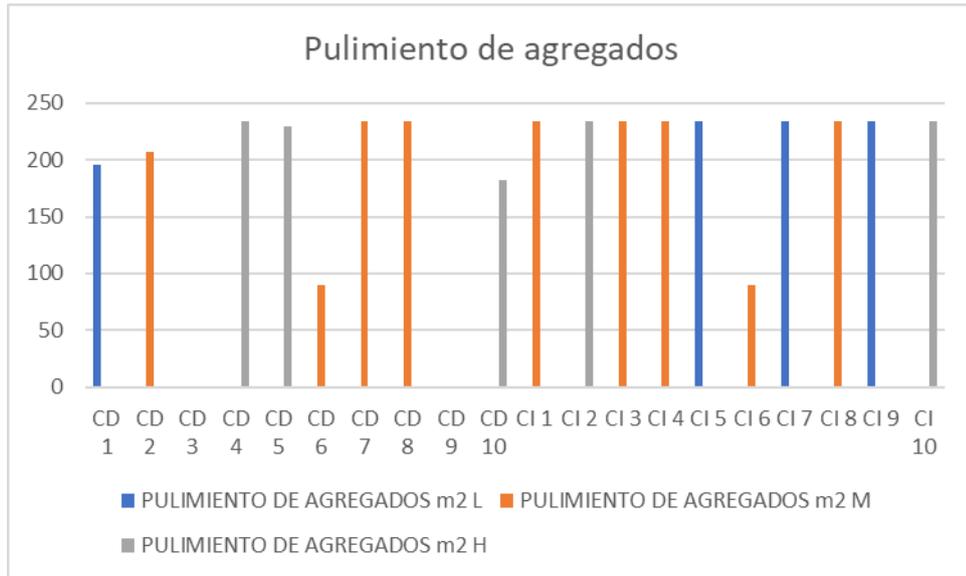


Figura 34. Pulimiento de agregados en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

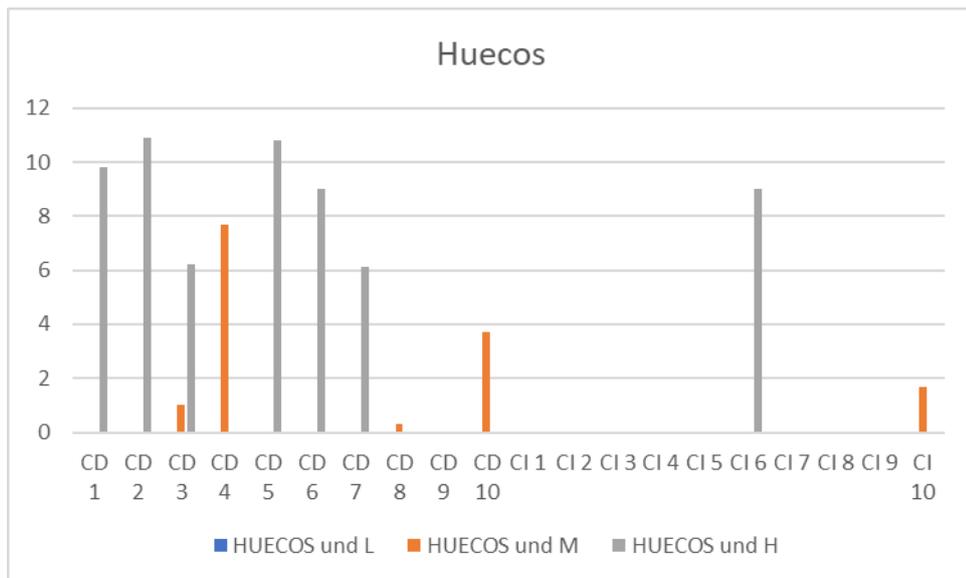


Figura 35. Huecos en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

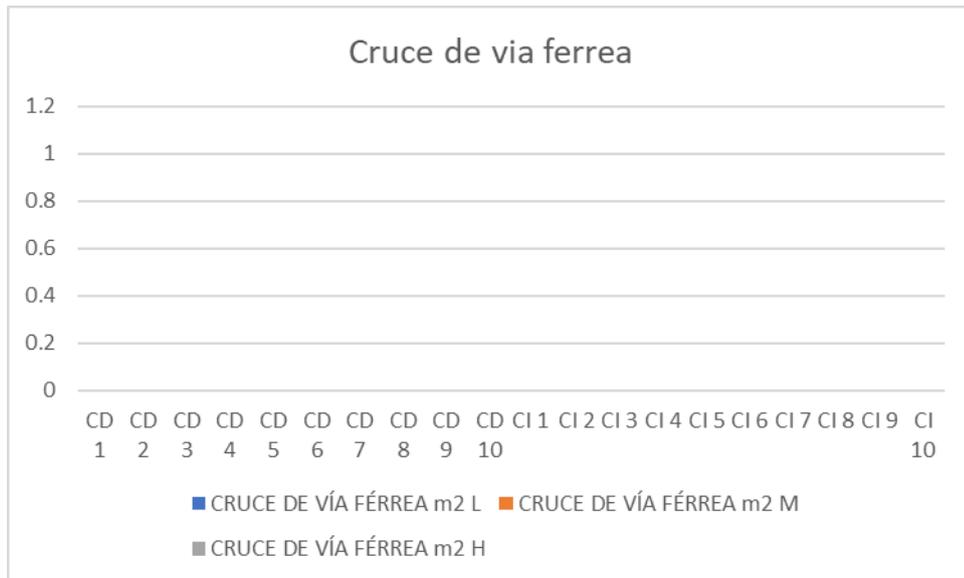


Figura 36. Cruce de Vía Férrea en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

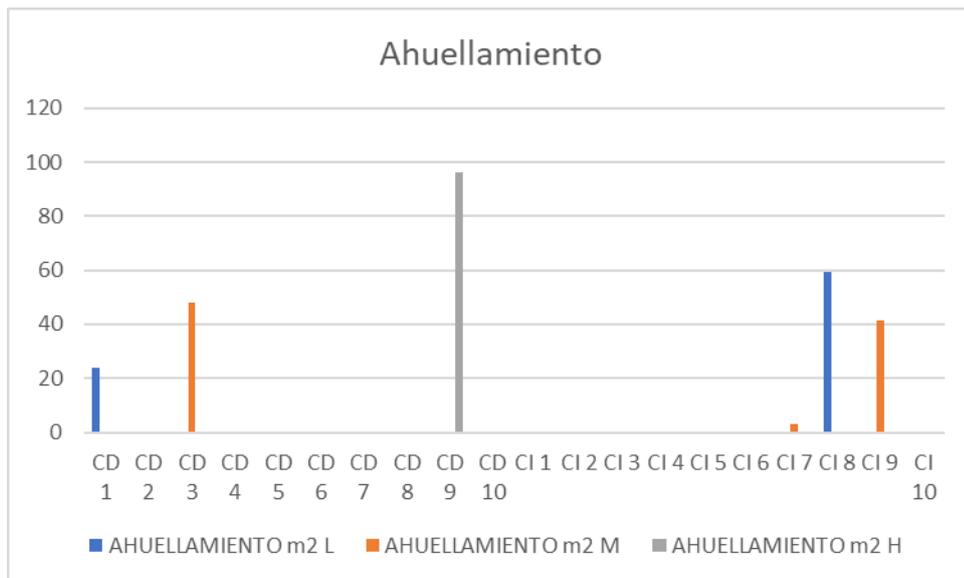


Figura 37. Ahuellamiento en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

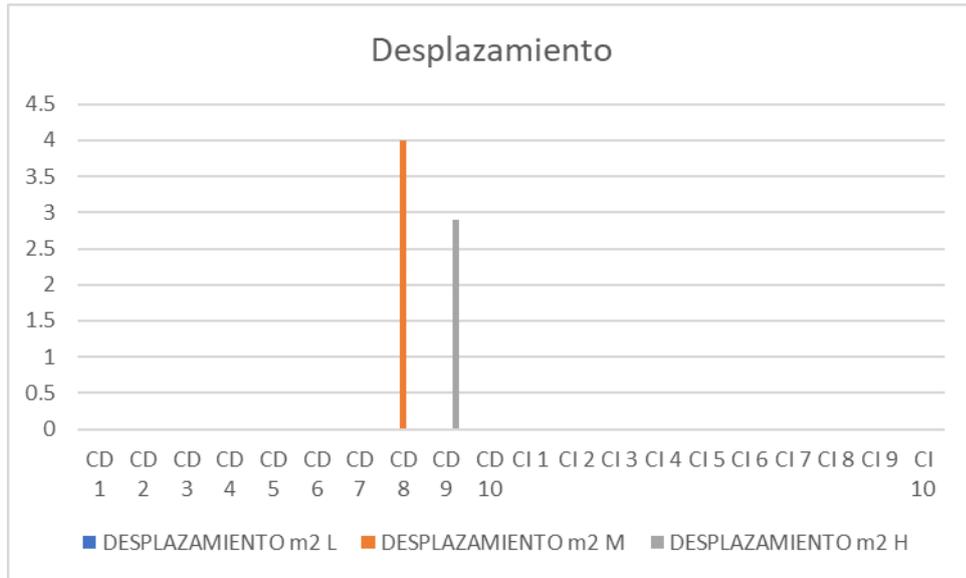


Figura 38. Desplazamiento en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

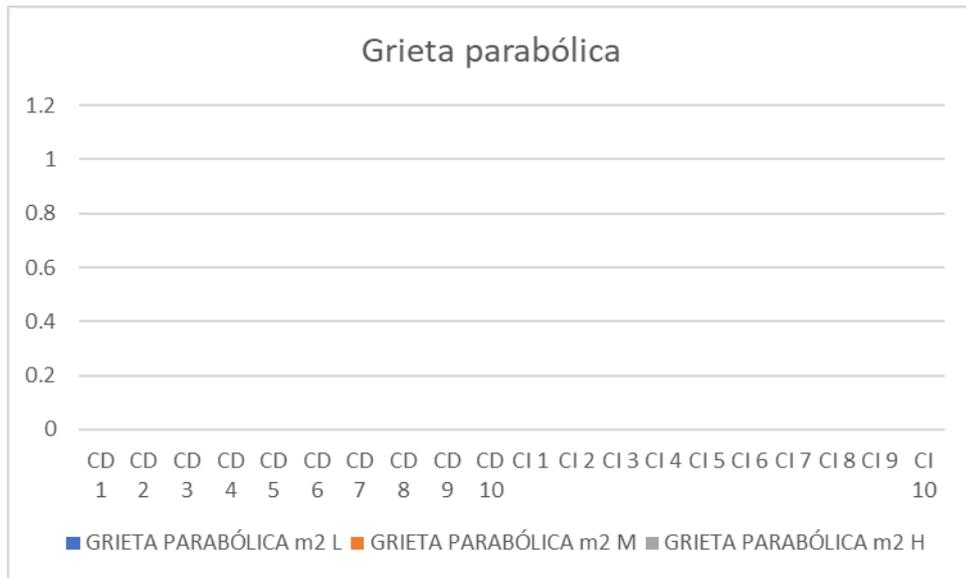


Figura 39. Grietas parabólicas en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

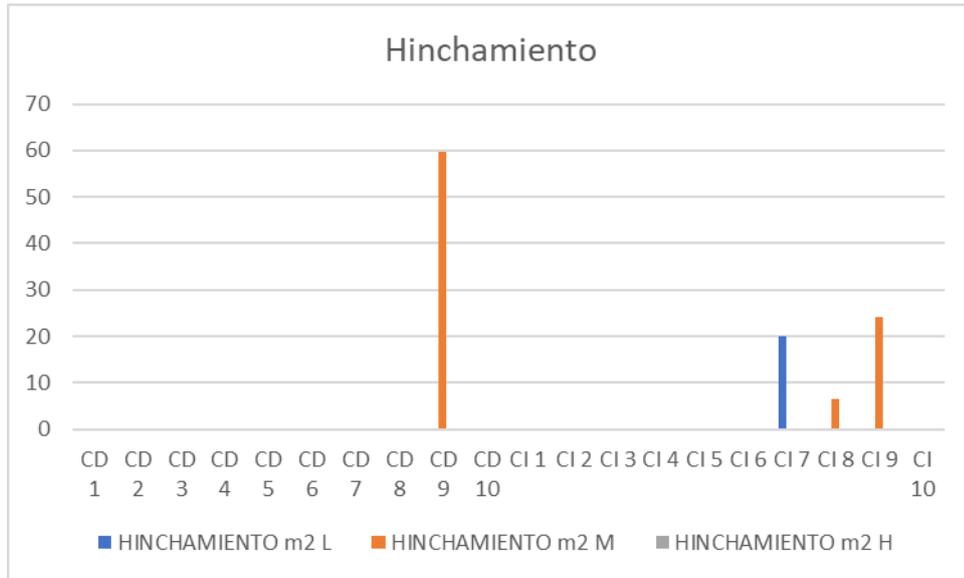


Figura 40. Hinchamiento en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

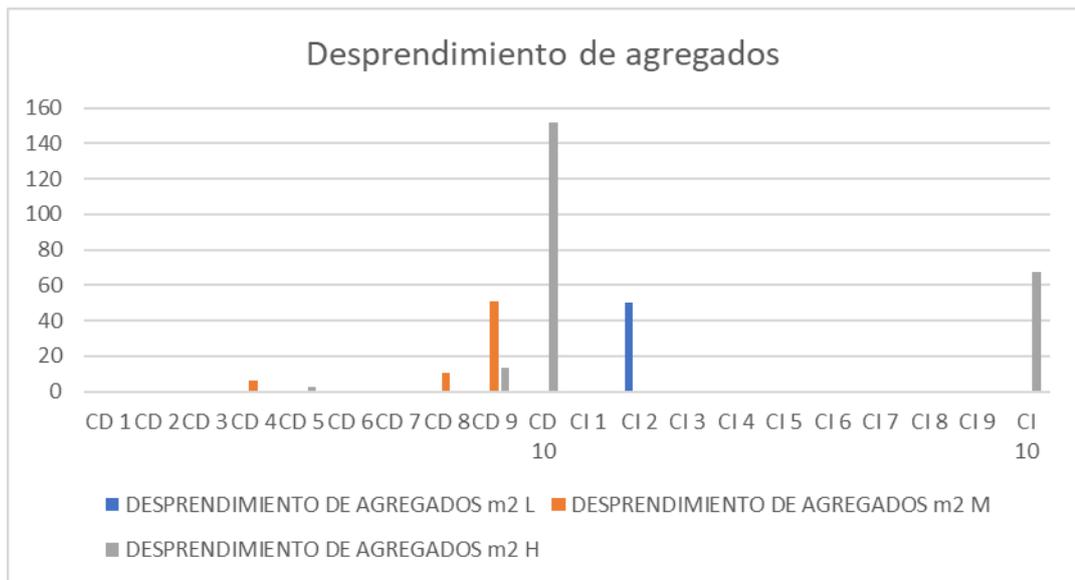


Figura 41. Desprendimiento de agregados en (PR 0+000 – PR 0+600).

Elaboración: La autora.

5.2 Uso de la Viga Benkelman

5.2.1 Lecturas por uso de la Viga

Tal como se detalla en el capítulo anterior, se realizaron mediciones a diferentes distancias; la primera lectura fue la deflexión máxima, seguidamente de 3 lecturas adicionales a diferentes distancias, a cada 25, 40, 70 cm (L25, L40, L70 y LMáx.). Tal como se detalla en la tabla 34.

Tabla 51. Lecturas de Viga Benkelman 25,40 y 70 cm.

Punto	Calzada	Lecturas de campo (en 10 ⁻³ pulgadas)			
		L25	L40	L70	Lmáx
0+100	Derecho	2	3	4	6
0+200	Derecho	1	3	4	6
0+300	Derecho	2	3	5	6
0+400	Derecho	2	3	4	6
0+500	Derecho	2	4	5	10
0+600	Derecho	2	3	5	6
0+100	Izquierdo	1	3	5	6
0+200	Izquierdo	1	4	5	7
0+300	Izquierdo	2	3	5	6
0+400	Izquierdo	1	3	4	5
0+500	Izquierdo	2	3	4	5
0+600	Izquierdo	2	4	5	10

Elaboración: La autora.

En el siguiente gráfico se especifica un versus de Lecturas y puntos tomados a distancias elegidas en la viga.

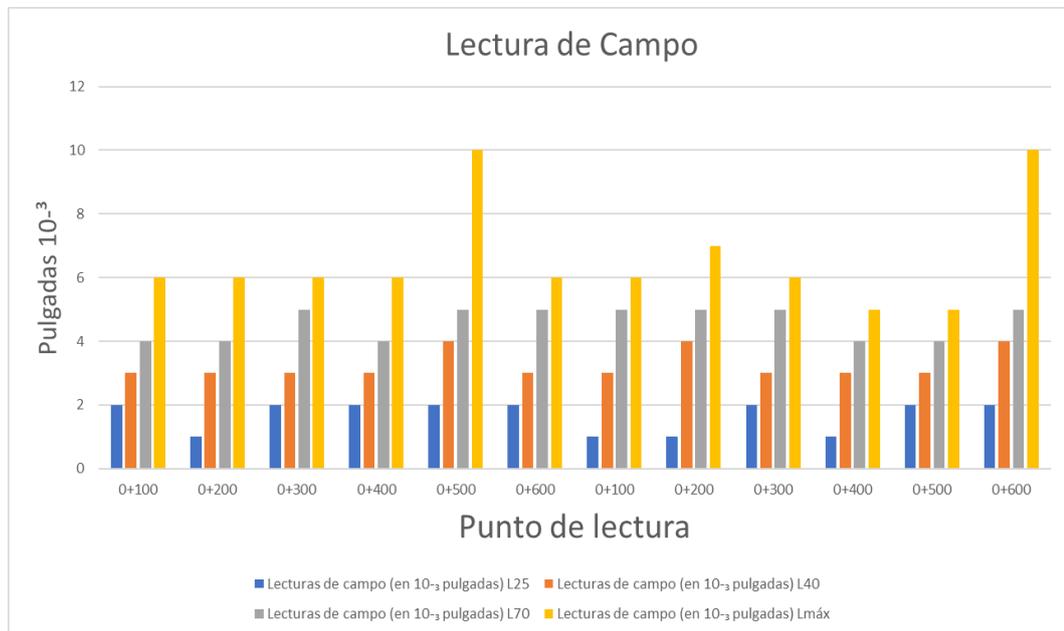


Figura 42. Diagrama de Lecturas de campo.

Elaboración: La autora.

5.2.2 Deflexiones de campo

Como resultado se encontraron las deflexiones mediante la fórmula de la viga simple, los resultados hallados se detallan en el siguiente cuadro e histograma.

Tabla 52. Deflexiones medidas a 25; 40 y 70 cm.

Punto	Calzada	Deflexiones (en 10^{-2} mm)			
		D25	D40	D70	Dmáx
0+100	Derecho	0.203	0.1524	0.102	0.305
0+200	Derecho	0.254	0.1524	0.102	0.305
0+300	Derecho	0.203	0.1524	0.051	0.305
0+400	Derecho	0.203	0.1524	0.102	0.305
0+500	Derecho	0.406	0.3048	0.254	0.508
0+600	Derecho	0.203	0.1524	0.051	0.305
0+100	Izquierdo	0.254	0.1524	0.051	0.305
0+200	Izquierdo	0.305	0.1524	0.102	0.356
0+300	Izquierdo	0.203	0.1524	0.051	0.305
0+400	Izquierdo	0.203	0.1016	0.051	0.254
0+500	Izquierdo	0.152	0.1016	0.051	0.254
0+600	Izquierdo	0.406	0.3048	0.254	0.508

Elaboración: La autora.

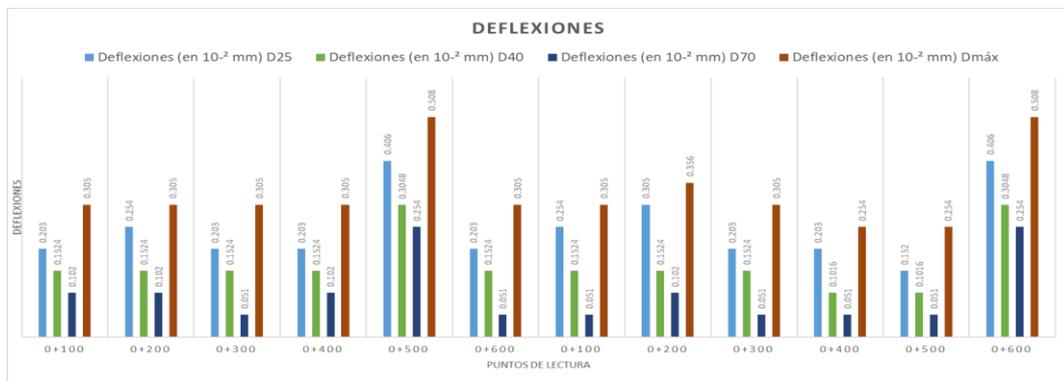


Figura 43. Diagrama de Deflexiones.

Elaboración: La autora.

5.2.3 Deflexiones corregidas por Temperatura

Para poder analizar las deflexiones por cada punto de muestra es necesario realizar el ajuste por temperatura, por ello las deflexiones fueron corregidas por temperatura.

Tabla 53. Deflexiones corregidas por temperatura.

Punto	Calzada	Deflexiones corregidas (en 10 ⁻² mm)				Temperatura
		D25	D40	D70	Dmáx	
0+100	Derecho	0.163	0.122	0.082	0.245	36.3
0+200	Derecho	0.180	0.108	0.072	0.216	47.5
0+300	Derecho	0.163	0.122	0.041	0.244	36.5
0+400	Derecho	0.145	0.108	0.072	0.217	47
0+500	Derecho	0.325	0.243	0.203	0.406	36.8
0+600	Derecho	0.145	0.109	0.036	0.218	46.7
0+100	Izquierdo	0.207	0.124	0.041	0.248	35.3
0+200	Izquierdo	0.218	0.109	0.073	0.254	46.7
0+300	Izquierdo	0.154	0.116	0.039	0.231	41.2
0+400	Izquierdo	0.161	0.080	0.040	0.201	37.6
0+500	Izquierdo	0.116	0.077	0.039	0.193	41.2
0+600	Izquierdo	0.316	0.237	0.197	0.395	39.1

Elaboración: La autora.

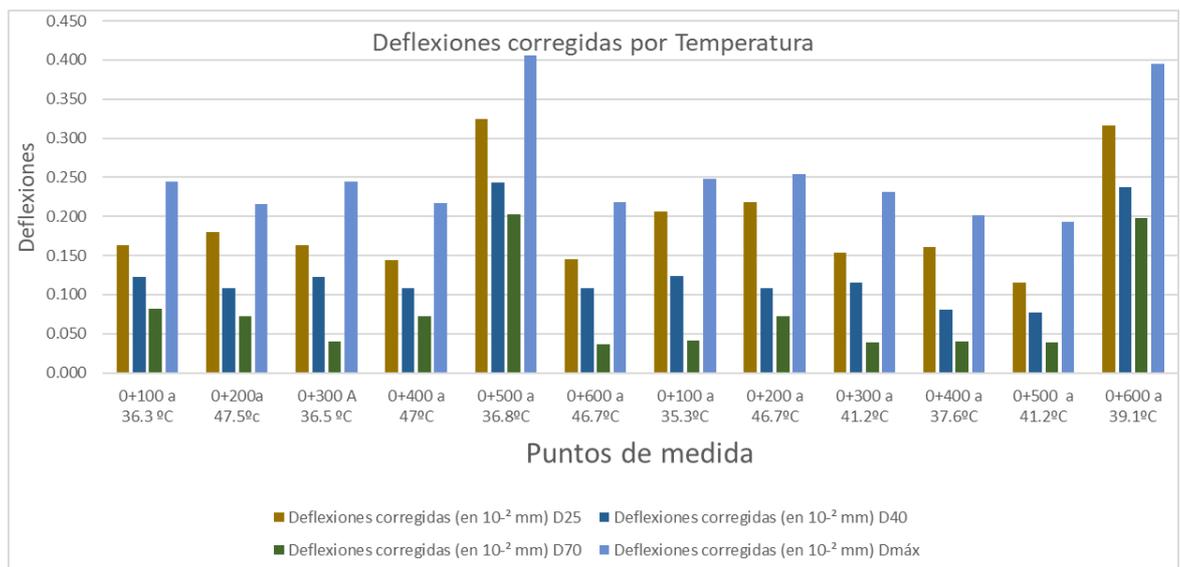


Figura 44. Diagrama de deflexiones corregidas por temperatura.

Elaboración: La autora.

5.2.4 Longitud Característica

5.2.4.1 Longitud Característica para R=25 cm

Para hallar la longitud característica fue necesario el uso de los nomogramas D_r/D_o vs r , para $H/L=10$ Y $H/L=20$.

La longitud característica resultante de cada nomograma para $H/L=10$ Y $H/L=20$, es promediado para obtener un resultado más exacto.

Se muestran los resultados en los siguientes gráficos:

Tabla 54. Longitud Característica promedio para R=25.

Longitud característica				
Punto	D_r/D_o	$r=25$ cm		Promedio
		$H/L=10$	$H/L=20$	
0+100	0.667	17.80	16.80	17.30
0+200	0.833	32.30	30.50	31.40
0+300	0.667	17.80	16.80	17.30
0+400	0.667	17.80	16.80	17.30
0+500	0.800	28.50	27.50	28.00
0+600	0.667	17.80	16.80	17.30
0+100	0.833	32.30	30.50	31.40
0+200	0.857	36.80	35.10	35.95
0+300	0.667	17.80	16.80	17.30
0+400	0.800	28.50	27.50	28.00
0+500	0.600	14.50	13.00	13.75
0+600	0.800	28.50	27.50	28.00

Elaboración: La autora.

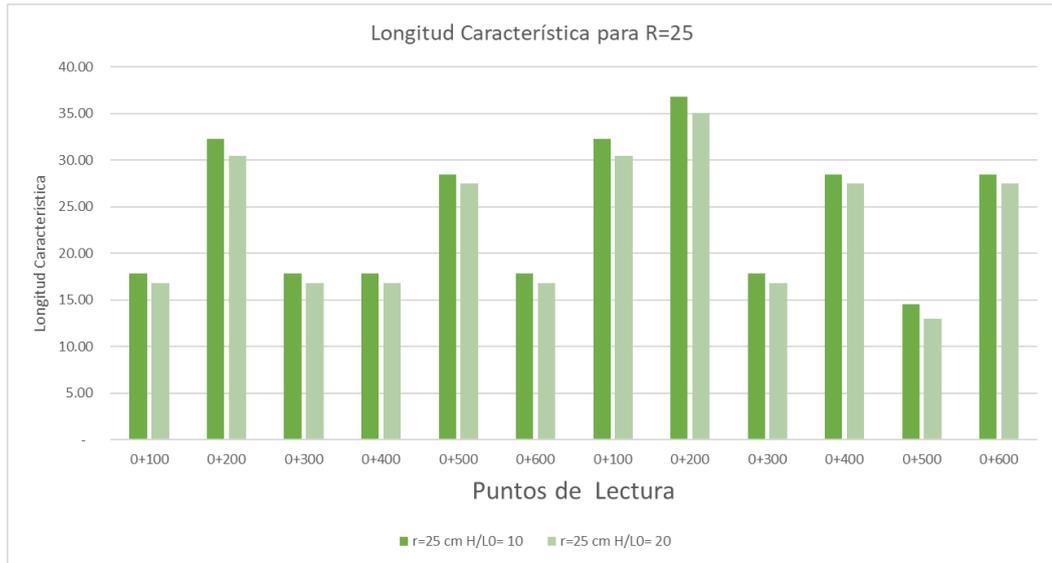


Figura 45. Diagrama de Longitud Característica para R =25.

Elaboración: La autora.

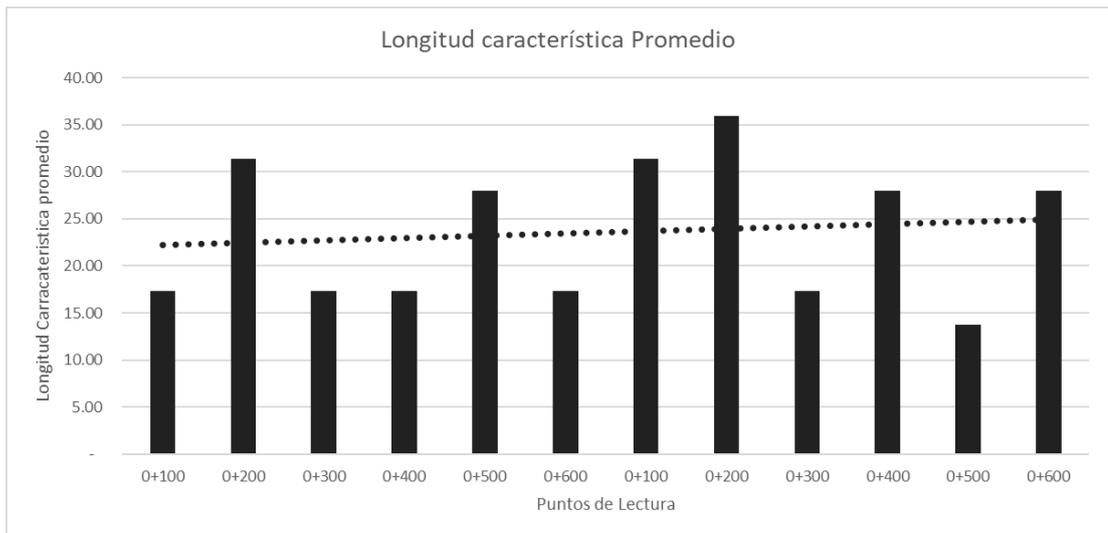


Figura 46. Barras de Longitud Característica para R =25.

Elaboración: La autora.

5.2.4.2 Longitud Característica para R=40cm

Tabla 55. Longitud Característica promedio para R=40.

Longitud característica				
Punto	Dr/Do	r=40 cm		Promedio
		H/L0= 10	H/L0= 20	
0+100	0.500	20.20	19.80	20.00
0+200	0.500	20.20	19.80	20.00
0+300	0.500	20.20	19.80	20.00
0+400	0.500	26.70	25.50	26.10
0+500	0.600	20.20	19.80	20.00
0+600	0.500	20.20	19.80	20.00
0+100	0.500	16.90	15.00	15.95
0+200	0.429	20.20	19.80	20.00
0+300	0.500	16.30	15.00	15.65
0+400	0.400	16.30	15.00	15.65
0+500	0.400	26.70	25.50	26.10
0+600	0.600	20.20	19.80	20.00

Elaboración: La autora.

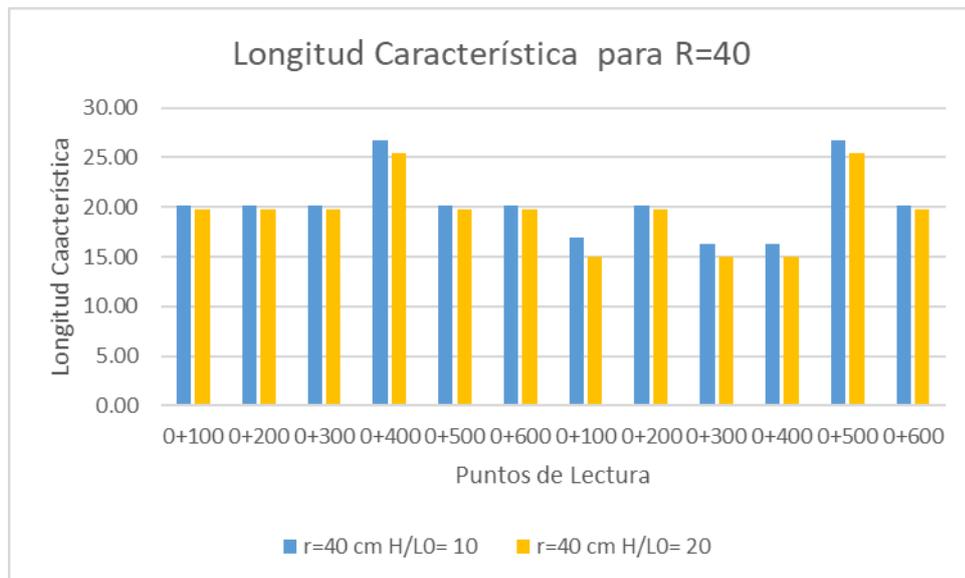


Figura 47. Longitud Característica para R=40.

Elaboración: La autora.

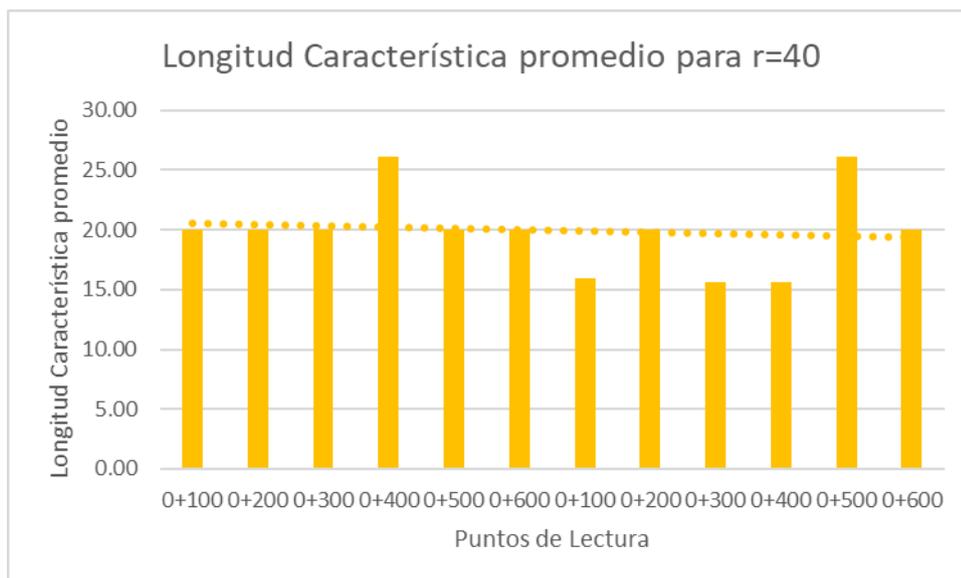


Figura 48. Diagrama Longitud Característica para R=40.

Elaboración: La autora.

5.2.4.3 Longitud Característica para R=70cm

Tabla 56. Longitud característica para R=70 cm.

Longitud característica				
Punto	Dr/Do	r=70 cm		Promedio
		H/L0= 10	H/L0= 20	
0+100	0.333	26.30	24.50	25.40
0+200	0.333	26.30	24.50	25.40
0+300	0.167	16.70	14.80	15.75
0+400	0.333	26.30	24.50	25.40
0+500	0.500	38.20	36.50	37.35
0+600	0.167	16.70	14.80	15.75
0+100	0.167	16.70	14.80	15.75
0+200	0.286	23.30	21.90	22.6
0+300	0.167	16.70	14.80	15.75
0+400	0.200	19.10	17.00	18.05
0+500	0.200	19.10	17.00	18.05
0+600	0.500	41.20	36.50	38.85

Elaboración: La autora.

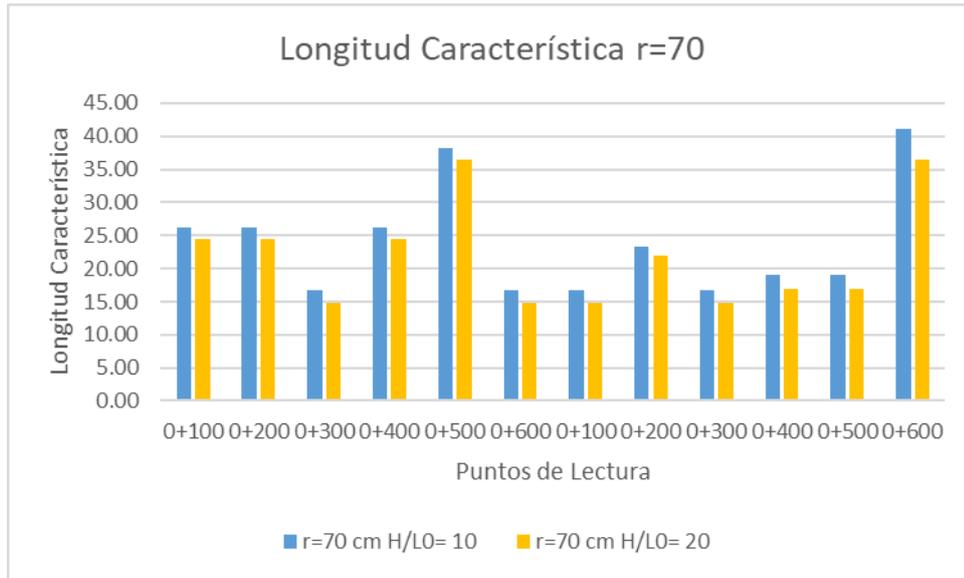


Figura 49. Diagrama de Longitud Característica R=70.

Elaboración: La autora.

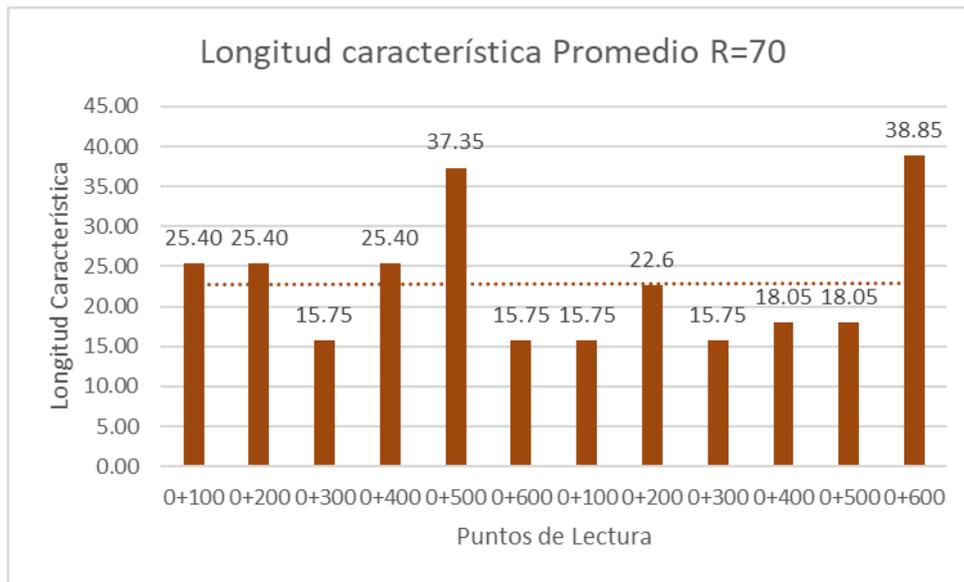


Figura 50. Longitud Característica para R=70.

Elaboración: La autora.

5.2.5 Módulo de Elasticidad de la subrasante

Para hallar el módulo de elasticidad de la subrasante, se realizaron comparaciones para verificar cual es la relación D_r/D_o más cercana al valor de 0.5, para $R= 25; 40$ y 70 cm.

Luego se usó el nomograma 2 para R=40 y R=70, donde se obtuvo el módulo de elasticidad de la subrasante.

Tabla 57. Módulo de Elasticidad de la subrasante (Esg).

Punto	Lo	Módulo de la Elasticidad de la subrasante Esg (Kg/cm ²)
0+100	20.000	1313.26
0+200	20.000	1490.54
0+300	20.000	1316.42
0+400	26.100	1354.34
0+500	37.350	500.73
0+600	20.000	1477.88
0+100	15.950	747.22
0+200	20.000	1266.75
0+300	15.650	889.95
0+400	15.650	1024.19
0+500	26.100	1524.57
0+600	38.850	539.04

Elaboración: La autora.

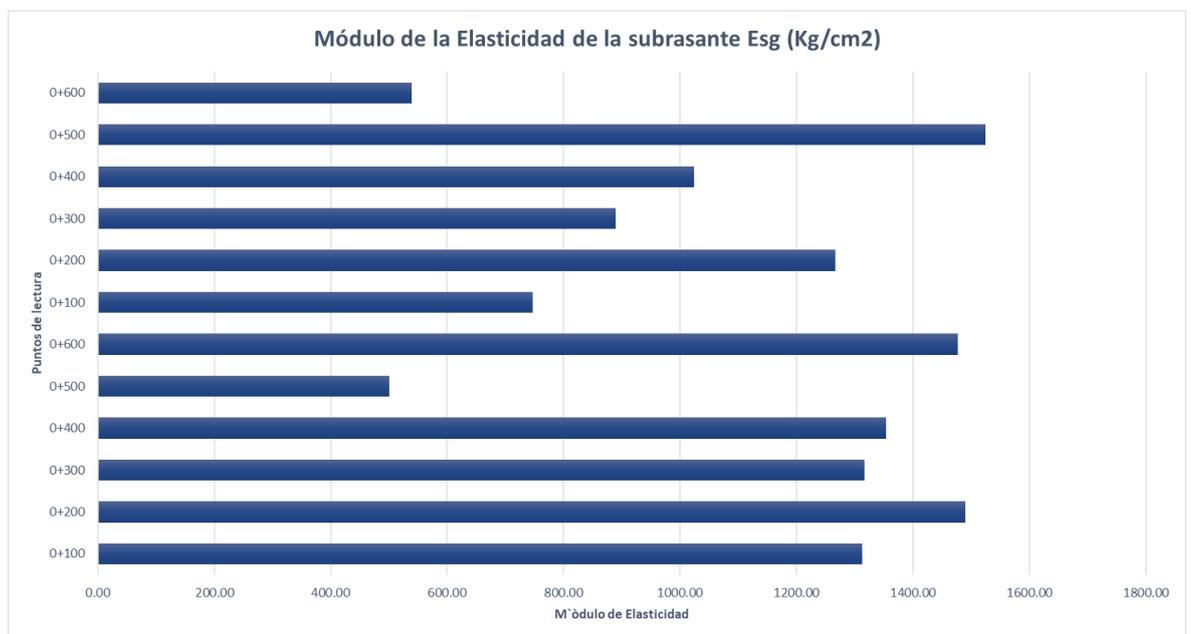


Figura 51. Diagrama de Barras de módulo de Elasticidad.

Elaboración: La autora.

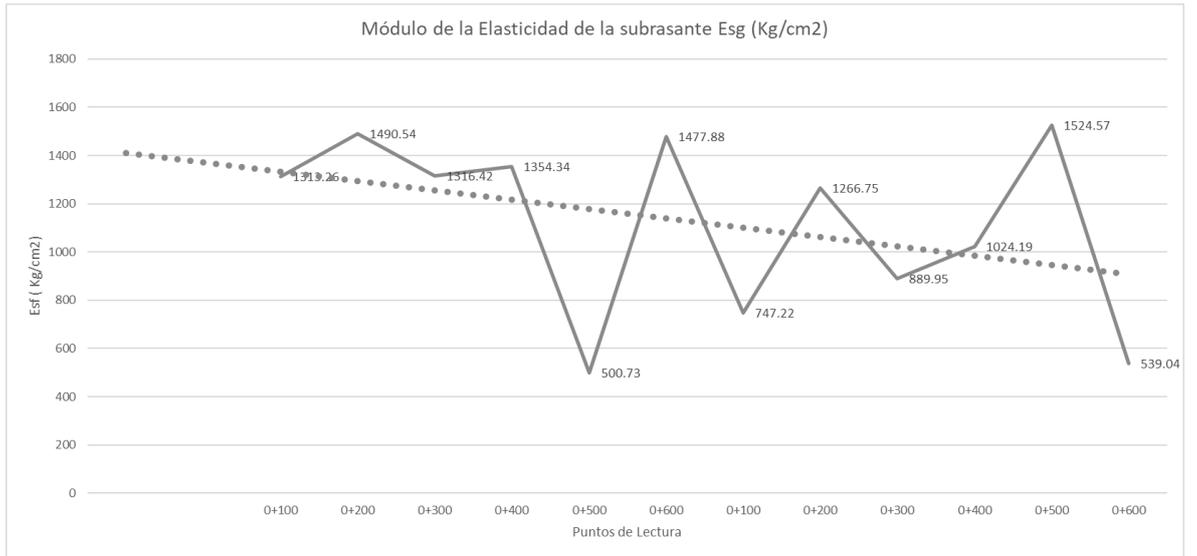


Figura 52. Diagrama de módulo de Elasticidad.

Elaboración: La autora.

5.2.6 CBR

Calculados los parámetros de evaluación: Longitud característica y Módulo de elasticidad de la subrasante, se calcularon los valores de CBR para cada punto de lectura, con el fin de poder encontrar el estado estructural del pavimento.

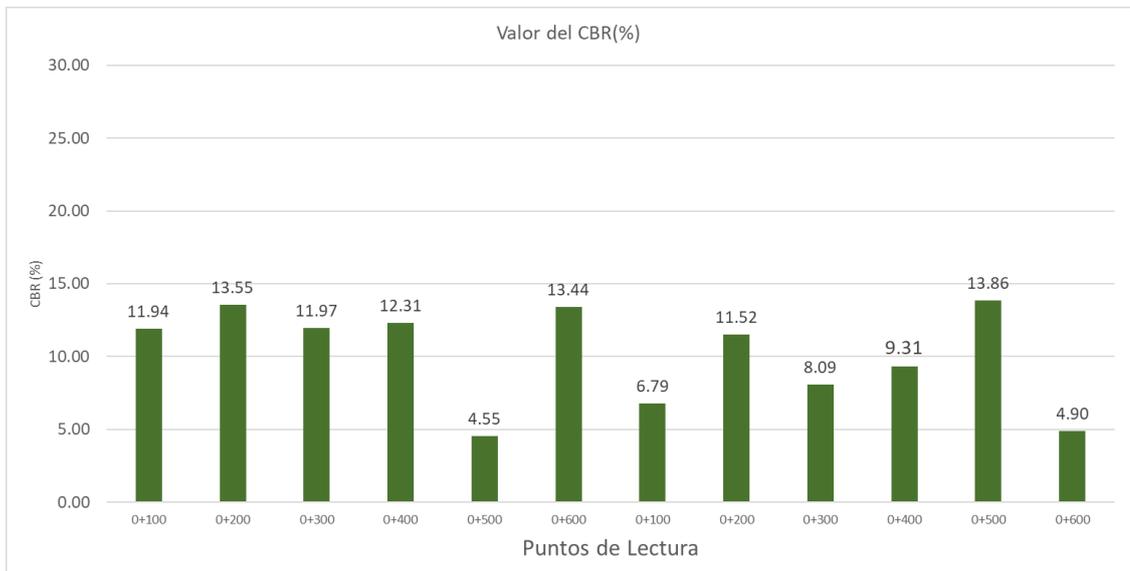


Figura 53. CBR por cada punto de lectura.

Elaboración: La autora.

Tabla 58. Clasificación de la subrasante por CBR.

Calzada	Punto	Valor del CBR(%) a K 110	Clasificación
Derecha	0+100	11.94	BUENA
Derecha	0+200	13.55	BUENA
Derecha	0+300	11.97	BUENA
Derecha	0+400	12.31	BUENA
Derecha	0+500	4.55	POBRE
Derecha	0+600	13.44	BUENA
Izquierda	0+100	6.79	REGULAR
Izquierda	0+200	11.52	BUENA
Izquierda	0+300	8.09	REGULAR
Izquierda	0+400	9.31	REGULAR
Izquierda	0+500	13.86	BUENA
Izquierda	0+600	4.90	POBRE
	Promedio	10.19	REGULAR

Elaboración: La autora.

Luego se halló el promedio de los valores de CBR que se obtuvieron en cada punto de muestra, el cual obtuvo un valor promedio de CBR de 10%, el cual fue clasificado como bueno según el MTC.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Discusión de Antecedentes

6.1.1 Discusión de Antecedentes Nacionales

Respecto a la tesis de Rivas y Vargas (2017), se coincide en que al aplicar la metodología PCI, con el objetivo de buscar la mejor alternativa de rehabilitación, se minimizan costos y tiempos; para ello se utilizó la técnica de inspección visual la misma que se desarrolló en la presente investigación, la cual fue pasmada en formatos de evaluación obteniendo finalmente el PCI de la muestra.

Similarmente, se aplicó la metodología PCI para pavimento flexible en ambos estudios, siguiendo el procedimiento establecido en la metodología PCI, tanto para el recojo, procesamiento y análisis de datos de acuerdo con el tipo de pavimento a estudiar.

Zevallos (2017) realizó una tesis la cual tiene como objetivo inspeccionar y evaluar el estado de conservación del pavimento flexible de las vías del cercado de la ciudad de Barranca, mediante el uso del método PCI, tomando como muestra la avenida José Gálvez Barrenechea; el autor aplicó en su investigación técnicas de recojo y procesamiento de datos como la inspección visual, utilizando el manual de fallas PCI, con sus respectivos formatos para cada tipo de falla existente. Al comparar la presente tesis y la tesis realizada por Zevallos se distingue que, la presente tesis no tiene un

formato de cálculo para cada falla, ya que el cálculo del PCI se realiza mediante el software EvalPav, lo que permite que el tiempo de ejecución para hallar el PCI sea en menor, los resultados obtenidos mediante el software sean de calidad y exactos.

Sin embargo, ambas investigaciones concuerdan en que, la metodología PCI es uno de los procedimientos más eficientes para evaluar los pavimentos, ya que técnicamente es muy práctico.

Solis y Vallejos (2019), realizaron una investigación sobre el estudio de la avenida Chinchaysuyo, recopilando información de 90 muestras basándose en la norma ASTM D 5340, siguiendo los procedimientos del método PCI para pavimentos flexibles. Las principales fallas encontradas fueron desintegración y disgregación (32.9 %), baches (16.2%), huecos (17.3 %), piel de cocodrilo (8.7 %) y las grietas longitudinales y transversales (9.7%). De este modo ambas investigaciones coinciden en que, las fallas del pavimento flexible son concurrentes, como lo son las fallas de: piel de cocodrilo, huecos y grietas longitudinales. Solis y Vallejos encontraron sus muestras PCI en estado muy bueno, ya que, en la investigación de los autores, la red vial era constantemente supervisada por las autoridades del distrito de La Victoria. Sin embargo, en la presente investigación las muestras evaluadas tuvieron un estado de conservación pobre. Lo que demuestra que el estado de conservación del pavimento depende del constante mantenimiento que se le atribuya a la red vial.

Respecto a la investigación de Carbajal (2018), concuerda con la presente investigación en que la metodología PCI es el método más confiable, de fácil aplicación y de menor costo a comparación de otras metodologías para evaluar pavimentos. Carbajal utilizó la metodología PCI para pavimentos rígidos, inspeccionando y evaluando 69 unidades de losa.

Balarezo (2017), sugiere que los gobiernos locales deben considerar como primera alternativa latente las evaluaciones estructurales, en este caso mediante el ensayo de la Viga Benkelman, ya que esta evaluación permite el conocer alguna necesidad de rehabilitación y/o mantenimiento que requiera el pavimento a estudiar. La presente investigación concuerda con Balarezo

porque la evaluación estructural por medio del uso de la Viga Benkelman debe ser la primera evaluación que debe realizarse en el pavimento, ya que muestra la calidad de subrasante y en la que se apoya el pavimento, de tal forma que se conozca el verdadero estado del pavimento de manera completa y no solamente a nivel superficial, como es el caso de las evaluaciones superficiales.

6.1.2 Discusión de Antecedentes Internacionales

Tabares y Lozano (2015) realizaron una investigación con el fin de diagnosticar la vía existente del barrio ciudadela del café en la vía Badea, para lo cual aplicaron las metodologías PCI y VIZIR, con el fin de realizar el diseño del pavimento flexible.

Es importante reconocer que la evaluación superficial y estructural es el primer paso para poder realizar un posible diseño en el lugar donde se requiera rehabilitar el pavimento. En concordancia con Tabares y Lozano se indica que, es necesario conocer el estado de conservación del pavimento como primera herramienta para la mejora de la vía.

Lizárraga (2013), de acuerdo con la investigación del autor, es importante destacar que, para el diseño y construcción de pavimentos es necesario una previa evaluación superficial y estructural; durante cualquier periodo de vida útil del pavimento, ya sea al inicio de la construcción o fin de la vida útil del pavimento.

Miranda (2015), propone el proporcionar mediciones orientadas a la seguridad carretera aplicada en pavimentos rígidos y flexibles, en el trayecto final de construcción o conservación. Se concuerda con Miranda que, es necesario el uso de dispositivos de seguridad en carreteras; asimismo, es importante que la red vial flexible o rígida se encuentre en un estado óptimo, evaluar constantemente el pavimento y el proponer soluciones óptimas; de esta manera disminuyen los gastos ante un deficiente mantenimiento y/o rehabilitación.

Cano (2017), realiza una investigación en la cual recomienda que en la relación de deterioros de la norma ASTM D5340 deberían de considerarse solo algunos de ellos, por importancia superficial; ya que algunas fallas deterioran el pavimento cuando son fallas superficiales, mientras que otras tienen transcendencia sobre el pavimento cuando son fallas estructurales, sin la capacidad de realizar una evaluación del pavimento. Esto se repite en las investigaciones, como en este caso, que solo encontramos un porcentaje de las fallas superficiales de las 19 fallas que el método refiere; el que se contemplen menos fallas de las detalladas en la norma determina resultados PCI con mayor exactitud, ya que al tener menor tipo de fallas se obtendrá un valor más cercano al real; cabe indicar que , es de suma importancia el que se mejoren las normas para el cálculo del PCI, con el fin de evaluar el pavimento a nivel superficial y estructural, sin la necesidad de precisar de otros estudios y que se realice una intervención

Carrasco y Vizhñay (2019), se concuerda con los autores en que el uso del ensayo de la Viga Benkelman es la mejor alternativa para la evaluación estructural, además se encuentra al alcance de los gobiernos locales, ya que es un ensayo no destructivo, no necesita de trabajos previos, de bajo costo, confiable y se encuentra estipulada en el Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

6.2 Discusión de hipótesis

6.2.1. Discusión de hipótesis general

Realizando la evaluación y el diagnóstico del pavimento flexible por medio de la aplicación de la metodología PCI y el ensayo de la Viga Benkelman se conoce el estado actual de la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en la Ciudad de Chiclayo.

Por los resultados adquiridos en el presente estudio, a través de la evaluación tanto funcional por la metodología PCI; y estructural por el ensayo de la Viga Benkelman, se concluye que esta hipótesis es 100% válida, ya que en el caso de la metodología PCI encontramos que el estado en el que se encuentra el pavimento es de 26 clasificándolo como pobre;

y en el caso del ensayo de la Viga Benkelman logramos conocer el valor de CBR igual a 10% clasificándolo según el MTC como bueno.

6.2.2 Discusión de hipótesis específica

H.E. 1 El registro de daños mediante la metodología PCI permite conocer el estado de conservación del pavimento flexible en la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en Chiclayo.

El registro de daños que encontramos en el trabajo de investigación revela que la hipótesis específica es válida ya que al encontrar todas las fallas existentes a través de la metodología PCI, se obtiene el estado de conservación del pavimento, claro está que esta información debe ser estudiada y sistematizada en el software EvalPav. Es importante precisar, además que se encontraron un total de 12 fallas de las 19 que el método refiere, se presenta un diagrama en el cual se presenta los porcentajes de cada falla en toda la muestra, además una tabla resumen donde se detalla la extensión total de cada falla.

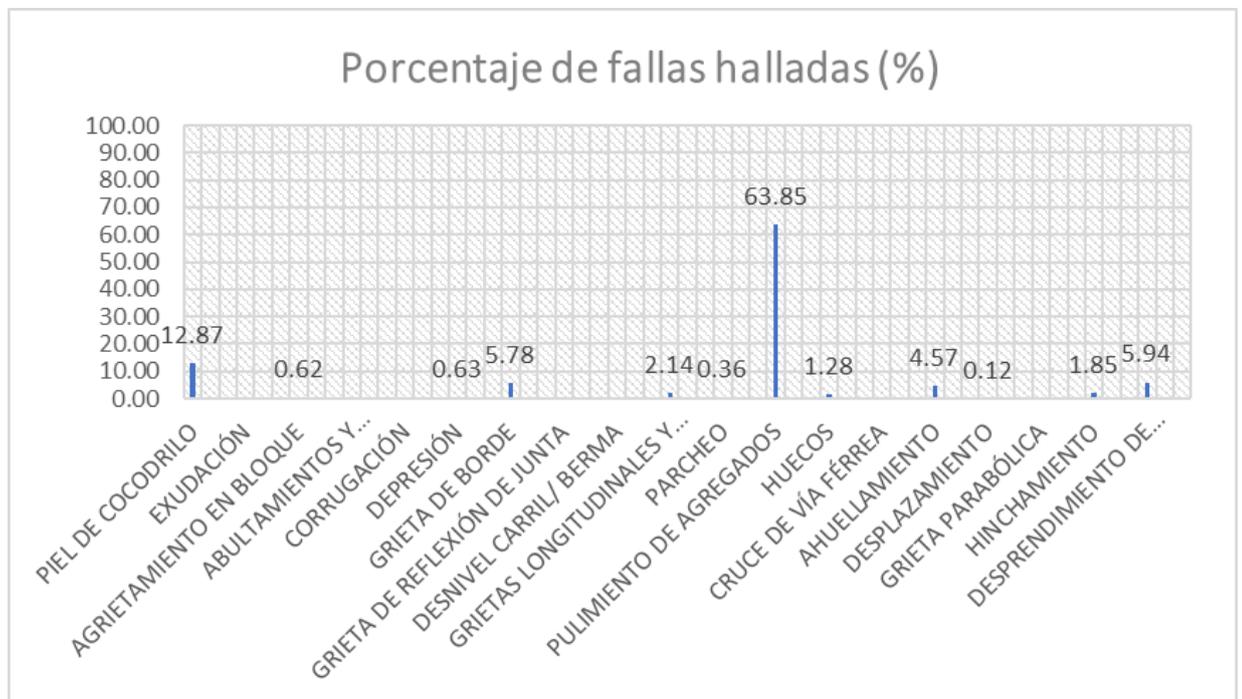


Figura 54. Porcentaje de fallas halladas.

Elaboración: La autora.

Tabla 59. Extensión de fallas.

Tipo de fallas	Unidad de Mediad	Extensión	Porcentaje (%)
PIEL DE COCODRILO	m2	765.3	12.87
EXUDACIÓN	m2	0	0.00
AGRIETAMIENTO EN BLOQUE	m2	36.7	0.62
ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS	m2	0	0.00
CORRUGACIÓN	m2	0	0.00
DEPRESIÓN	m2	37.5	0.63
GRIETA DE BORDE	M	344	5.78
GRIETA DE REFLEXIÓN DE JUNTA	M	0	0.00
DESNIVEL CARRIL / BERMA	M	0	0.00
GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	M	127.3	2.14
PARCHEO	m2	21.4	0.36
PULIMIENTO DE AGREGADOS	m2	3797.3	63.85
HUECOS	und	76.2	1.28
CRUCE DE VÍA FÉRREA	m2	0	0.00
AHUELLAMIENTO	m2	271.7	4.57
DESPLAZAMIENTO	m2	6.9	0.12
GRIETA PARABÓLICA	m2	0	0.00
HINCHAMIENTO	m2	110.1	1.85
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	m2	353.2	5.94

Elaboración: La autora.

H.E 2 El análisis de los resultados del ensayo de la viga Benkelman permite determinar el estado de la avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en Chiclayo.

El ensayo de la Viga Benkelman nos atribuye el conocer las deflexiones halladas en el pavimento, las cuales fueron desarrolladas en nuestra hoja de cálculo y nomogramas, terminando con el resultado del CBR, los cuales detallaron y calcularon el estado del pavimento mediante este ensayo. Por ello podemos concluir que esta hipótesis es válida.

H.E. 3 El conocer el estado del pavimento permite llevar a cabo un plan de rehabilitación del pavimento flexible en avenida Confraternidad en el PP JJ Ricardo Palma en la Ciudad de Chiclayo.

Esta hipótesis es válida ya que el fin de realizar esta investigación es la de realizar una propuesta de rehabilitación con la finalidad de que esta información y datos obtenidos, sea recepcionada por el ente encargado de la vía, en este caso la Municipalidad Provincial de Chiclayo, para que se puedan plantear soluciones con respecto a esta la avenida, proponiendo la mejor opción con el fin de no terminar de destruir la vía.

CONCLUSIONES

1. El valor del PCI de la muestra evaluada determina un resultado de 26; en cuanto al porcentaje del CBR hallado en el ensayo de la Viga Benkelman se diagnostica un valor de 10%, lo cual significa que el pavimento se sitúa sobre una subrasante que no origina problemas y se encuentra en una condición óptima ; de acuerdo al valor diagnosticado en el ensayo, se ubica a la subrasante en una categoría regular, según la clasificación estipulada por el MTC.
2. Al evaluar el pavimento flexible de la avenida Confraternidad se identificaron 12 tipos de fallas aplicando el método PCI; para ello es relevante considerar los parámetros de evaluación de la metodología PCI: tipo de falla inspeccionada; nivel de severidad bajo, medio y alto representado por letras de L, M, H respectivamente y extensión de acuerdo al tipo de falla evaluada.
3. Los tipos de fallas con mayor incidencia en el pavimento de la avenida Confraternidad fueron: pulimiento de agregados con una extensión de 3797.3 m², presentando un porcentaje de 63.85 %; piel de cocodrilo, con una extensión total de 765.3 m² y un porcentaje de 12.87%; desprendimiento de agregados con un porcentaje de 5.95 %.
4. Mediante el ensayo de la Viga Benkelman se logra conocer los parámetros de evaluación: Longitud característica promedio de 22.97, valor que se aproxima a 15 cm (subrasante fuerte), y Módulo de elasticidad promedio de 1120.41 Kg/cm², parámetro que al tener un valor alto representa a una subrasante rígida.

RECOMENDACIONES

1. La aplicación de las metodologías de Índice de Condición del Pavimento y del Ensayo Viga Benkelman, son métodos bastante eficientes para la evaluación de los pavimentos, por lo cual se recomienda que se sigan realizando más trabajos de investigación e informes basándose en estos métodos.
2. En el caso que se desee realizar un plan de rehabilitación del pavimento a partir de los datos analizados en el presente estudio, se recomienda que se efectúe una constatación de la información, ya que el pavimento puede sufrir algunas variaciones en el transcurso del tiempo, las cuales requieran un mayor presupuesto al que pueda ser planeado a partir de esta tesis.
3. Se recomienda el uso y la aplicación del software EvalPav u otros sistemas computarizados, con el fin de reducir el tiempo para el hallazgo de valores, además de poder encontrar un certero valor el cual se exacto y confiable.
4. Se recomienda que las metodologías desarrolladas en el presente trabajo de investigación se puedan masificar en cuanto a uso y enseñanza, comenzando desde las diferentes casas de estudio universitarios, con el fin de poder realizar sin inconveniente alguno las metodologías ya descritas.

FUENTES DE INFORMACIÓN

a) Fuentes electrónicas:

Carbajal, M. (2018). Aplicación del método PCI para evaluar las condiciones de la superficie del pavimento rígido en la avenida Chiclayo. Recuperado de

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25666>

Carrasco y Vizhñay (2019). Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman. Recuperado de

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33520>

El peruano (2017). El 95 % de las pistas en Chiclayo fueron afectadas por las lluvias. Recuperado de <https://rpp.pe/peru/lambayeque/el-95-de-las-pistas-en-chiclayo-fueron-afectadas-por-las-lluvias-noticia-1046893>

Hernández, R. (2014). Metodología de la Investigación. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Huamán, C. (2014). Índice de condición de pavimento de la carretera Cajamarca – La Colpa. Recuperado de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/498>

Humpiri, K. (2015). Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno. Recuperado de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/426>

Lizàrraga, J. (2013). Diseño y Construcción de Pavimentos Flexibles Aplicando Geomallas de Polipropileno como Sistema de Reforzamiento

Estructural. Recuperado de
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/74284>

Mba, E. & Tabares, R. (2005). Diagnóstico de vía existente y diseño del pavimento flexible de la vía nueva mediante parámetros obtenidos del estudio en fase I de la vía acceso al barrio ciudadela del café- vía La Badea. Recuperado de
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/579195>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). Manual De Carreteras y Conservación Vial. Lima. Recuperado de
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4877.pdf

Rivas, A. & Vargas, C. (2017). Aplicación de la metodología PCI para minimizar costos y tiempo en la rehabilitación de la avenida Domingo Orué Suquillo – Lima. Recuperado de
<https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/4164>

Solis & Vallejos (2019). Estudio y evaluación del pavimento flexible ubicado en la av. Chinchaysuyo del tramo del Paseo Yortuque empleando el método PCI y propuesta de rehabilitación del pavimento flexible. Recuperado de
<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/6153>

Vásquez, L. (2002). Pavement Condition Index PCI. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de
<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>

Zevallos, R. (2018). Identificación y evaluación de las fallas superficiales en los pavimentos flexibles de algunas vías de la ciudad de Barranca-2017. Recuperado de
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/16979/Zevallos_GRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

ANEXO 01

Resultados de la inspección visual utilizando el formato de evaluación PCI
por unidad de muestra y progresivas de calzada derecha.

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO					
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO			
CHECLAYO	0+000	L	0001-CD		
NOMBRE DE VÍA	ABSCISA FINAL		ÁREA DE MUESTREO (M2)		
AV. CONFRATERNIDAD	0+032	M	233.60		
INSPECCIONADA POR			FECHA		
LINARES SIESQUEN L. VANESSA		H	05/06/2020		
N°.	DAÑO	N°	DAÑO		
1	Piel de cocodrilo	11	Parqueo		
2	Exudación	12	Pulimiento de Agregados		
3	Agrietamiento en bloque	13	Huecos/Baches		
4	Abultamiento y Hundimiento	14	Cruce de Vía Ferrea		
5	Corrugación	15	Ahuellamientos		
6	Depresión	16	Desplazamientos		
7	Grieta en Borde	17	Grieta Parabólica		
8	Grieta de Reflexión en junta	18	Hinchamiento		
9	Desnivel Carril/Berma	19	Desprendimiento o peladura		
10	Grietas Longitudinales y Transversales				
DAÑO	SEVERIDAD	X	Y	LONGITUD	ANCHO
1	M	3.20	18	20	4.10
15	L	3.60	18	14	3.70
13	H	5.0	3	4.27	2.30
12	L	2.0	1	31	6.30

* 03

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO					
ZONA	ABSCISA INICIAL			UNIDAD DE MUESTREO	
CHICLAHO	0+384	L		007-CD	
NOMBRE DE VÍA	ABSCISA FINAL			ÁREA DE MUESTREO (M2)	
AV. CONFRATERNIDAD	0+416	M		233.60	
INSPECCIONADA POR				FECHA	
LIVARES SIESQUEN L. VANESSA		H		05/06/2020	
N°.	DAÑO	N°	DAÑO		
1	Piel de cocodrilo	11	Parcheo		
2	Exudación	12	Pulimiento de Agregados		
3	Agrietamiento en bloque	13	Huecos/Baches		
4	Abultamiento y Hundimiento	14	Cruce de Vía Ferrea		
5	Corrugación	15	Ahuellamientos		
6	Depresión	16	Desplazamientos		
7	Grieta en Borde	17	Grieta Parabólica		
8	Grieta de Reflexión en junta	18	Hinchamiento		
9	Desnivel Carril/Berma	19	Desprendimiento o peladura		
10	Grietas Longitudinales y Transversales				
DAÑO	SEVERIDAD	X	Y	LONGITUD	ANCHO
1	H	0.3	0	2.8	3.6
13	H	2.2	6.6	2	1.6
13	H	2.2	7.8	2.15	3.33
12	M	0	0	3.2	7.3

* 01
* 03

ANEXO 03

Fallas encontradas en calzada derecha e izquierda

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
0.00	32.00	1	M	3.2	12	4.1	20			DERECHO	7.3	LL
0.00	32.00	12	L	2	1	6.3	31			DERECHO	7.3	LL
0.00	32.00	13	H	5	3	2.3	4.27			DERECHO	7.3	LL
0.00	32.00	15	L	3.6	18	1.7	14			DERECHO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
64.00	96.00	1	H	1.5	12	2.6	18			DERECHO	7.3	LL
64.00	96.00	12	M	0.3	1	7	29.6			DERECHO	7.3	LL
64.00	96.00	13	H	2.2	21	2.6	4.2			DERECHO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
128.00	160.00	1	M	0.1	10.1	2.1	15			DERECHO	7.3	LL
128.00	160.00	10	H	6.2	21	0	2.82	4		DERECHO	7.3	LL
128.00	160.00	10	H	5.8	25	0	1.6	4		DERECHO	7.3	LL
128.00	160.00	13	H	1	12	3.1	2			DERECHO	7.3	LL
128.00	160.00	13	M	1.5	22	1.2	0.8			DERECHO	7.3	LL
128.00	160.00	15	M	0.5	0	1.5	32			DERECHO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
192.00	224.00	1	H	2	0	1.2	18			DERECHO	7.3	LL
192.00	224.00	6	M	2.6	0	0.6	7			DERECHO	7.3	LL
192.00	224.00	11	M	7	0	0.4	32			DERECHO	7.3	LL
192.00	224.00	12	H	0	0	7.3	32			DERECHO	7.3	LL
192.00	224.00	13	M	3.52	4	0.9	3			DERECHO	7.3	LL
192.00	224.00	13	M	0.8	18.2	1.8	2.8			DERECHO	7.3	LL
192.00	224.00	19	H	3.2	30	3.1	2			DERECHO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
256.00	288.00	1	H	0	0	3.2	8.6			DERECHO	7.3	LL
256.00	288.00	3	M	3.9	31	1.14	1			DERECHO	7.3	LL
256.00	288.00	12	H	0	0	7.3	31.5			DERECHO	7.3	LL
256.00	288.00	13	H	1.82	18	2	2.1			DERECHO	7.3	LL
256.00	288.00	13	H	3.8	22.5	3.14	2.1			DERECHO	7.3	LL
256.00	288.00	19	H	3.6	22	2.2	1.1			DERECHO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
320.00	352.00	1	H	3	0	1.1	18			DERECHO	7.3	LL
320.00	352.00	12	M	2.8	0	2.8	32			DERECHO	7.3	LL
320.00	352.00	13	H	0.8	16	2.6	3.1			DERECHO	7.3	LL
320.00	352.00	13	H	1.1	28	1.2	0.8			DERECHO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
384.00	416.00	1	H	0.3	0	3.6	28			DERECHO	7.3	LL
384.00	416.00	12	M	0	0	7.3	32			DERECHO	7.3	LL
384.00	416.00	13	H	2.2	6.6	1.6	2			DERECHO	7.3	LL
384.00	416.00	13	H	2.2	7.8	1.33	2.15			DERECHO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
448.00	480.00	1	H	2.95	2.6	0.8	23			DERECHO	7.3	LL
448.00	480.00	12	M	0	0	7.3	32			DERECHO	7.3	LL
448.00	480.00	13	M	2.6	0	0.55	0.6			DERECHO	7.3	LL
448.00	480.00	16	M	4.3	12	1.6	2.5			DERECHO	7.3	LL
448.00	480.00	19	M	4.12	3	1.45	7.4			DERECHO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
512.00	544.00	15	H	0.7	0	3	32			DERECHO	7.3	LL
512.00	544.00	16	H	0.3	24	0.4	7.22			DERECHO	7.3	LL
512.00	544.00	18	M	2	0	2.1	28.4			DERECHO	7.3	LL
512.00	544.00	19	M	0.9	0	1.6	32			DERECHO	7.3	LL
512.00	544.00	19	H	0	30.2	7.3	1.8			DERECHO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
576.00	600.00	1	H	4.1	0	3.1	32			DERECHO	7.3	LL
576.00	600.00	11	H	5.1	19.5	1.97	3.4			DERECHO	7.3	LL
576.00	600.00	12	H	0.8	0	5.7	32			DERECHO	7.3	LL
576.00	600.00	13	M	1.24	0	1.7	2.2			DERECHO	7.3	LL
576.00	600.00	19	H	1.15	0	4.75	32			DERECHO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
0.00	32.00	1	M	1.91	11	2.25	10.2			IZQUIERDO	7.3	LL
0.00	32.00	12	M	0	0	7.3	32			IZQUIERDO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
64.00	96.00	1	M	1	0	2.3	28			IZQUIERDO	7.3	LL
64.00	96.00	12	H	0	0	7.3	32			IZQUIERDO	7.3	LL
64.00	96.00	19	L	2.1	5.5	4.2	12			IZQUIERDO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
128.00	160.00	12	M	0	0	7.3	32			IZQUIERDO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
192.00	224.00	12	M	0	0	7.3	32			IZQUIERDO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
256.00	288.00	1	M	2.3	6.8	3.2	8			IZQUIERDO	7.3	LL
256.00	288.00	6	L	1.15	3.2	1.85	18			IZQUIERDO	7.3	LL
256.00	288.00	12	L	0	0	7.3	32			IZQUIERDO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
320.00	352.00	12	M	0	0	7.3	32			IZQUIERDO	7.3	LL
320.00	352.00	13	M	2.1	5.2	2.6	2.2			IZQUIERDO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
384.00	416.00	1	L	4.3	1.6	2.2	12.1			IZQUIERDO	7.3	LL
384.00	416.00	12	L	0	0	7.3	32			IZQUIERDO	7.3	LL
384.00	416.00	15	M	6.85	11.1	0.15	20.5			IZQUIERDO	7.3	LL
384.00	416.00	18	L	6.35	10.55	0.95	21.2			IZQUIERDO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
448.00	480.00	1	M	6.1	0	0.6	32			IZQUIERDO	7.3	LL
448.00	480.00	12	M	0	0	7.3	32			IZQUIERDO	7.3	LL
448.00	480.00	15	L	5.45	0	1.85	32			IZQUIERDO	7.3	LL
448.00	480.00	18	M	5.8	0	0.2	32			IZQUIERDO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
512.00	544.00	1	M	6.2	0	0.9	32			IZQUIERDO	7.3	LL
512.00	544.00	12	L	0	0	7.3	32			IZQUIERDO	7.3	LL
512.00	544.00	15	M	6	0	1.3	32			IZQUIERDO	7.3	LL
512.00	544.00	18	M	6.35	0	0.75	32			IZQUIERDO	7.3	LL

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Daño	Severidad	X	Y	Ancho	Longitud	Ancho de Fisura (mm)	Observación	Carril	Ancho Carril	Inspeccionado
576.00	600.00	1	H	2.2	0	3.5	31.5			IZQUIERDO	7.3	LL
576.00	600.00	11	H	2.8	0	0.85	2.2			IZQUIERDO	7.3	LL
576.00	600.00	12	H	0	0	7.3	32			IZQUIERDO	7.3	LL
576.00	600.00	13	M	3.45	28	0.95	1.8			IZQUIERDO	7.3	LL
576.00	600.00	19	H	1.7	1.2	5.6	12			IZQUIERDO	7.3	LL

ANEXO 04

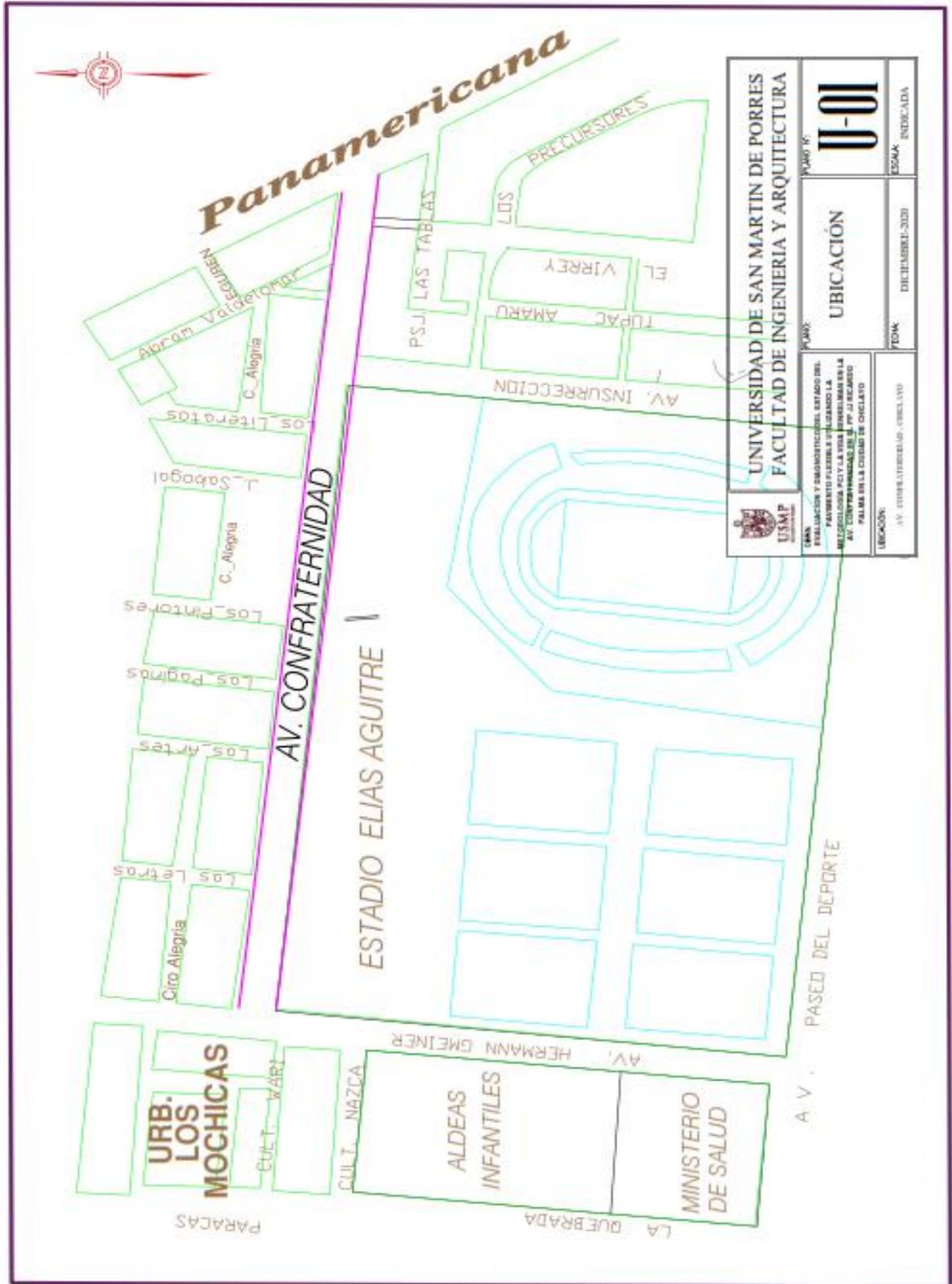
Resultados PCI obtenidos mediante el software EvalPav en calzada derecha e izquierda.

PROYECTO	: ESTADO DE CONSERVACION DEL PAVIMENTO DE LA AV CONFRA TERNIDAD EN CHICLAYO						
SECTOR	: CALZADA DERECHA						
CARRIL	: DERECHO						
AREA (m ²)	UNIDAD DE MUESTRA	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	m	VRC	PCI	CLASIFICACION
233.6	1	00+000	00+032	2.5	93	7	Colapsado
233.6	2	00+064	00+096	2.2	97	3	Colapsado
233.6	3	00+128	00+160	3.5	100	0	Colapsado
233.6	4	00+192	00+224	4.6	90	10	Muy Pobre
233.6	5	00+256	00+288	2.2	96	4	Colapsado
233.6	6	00+320	00+352	2.7	91	9	Colapsado
233.6	7	00+384	00+416	2.8	96	4	Colapsado
233.6	8	00+448	00+480	4.9	64	36	Pobre
233.6	9	00+512	00+544	2.6	88	12	Muy Pobre
175.2	10	00+576	00+600	2.5	100	0	Colapsado

PROYECTO	: ESTADO DE CONSERVACION DEL PAVIMENTO DE LA AV CONFRA TERNIDAD EN CHICLAYO						
SECTOR	: CALZADA IZQUIERDA						
CARRIL	: IZQUIERDO						
AREA (m ²)	UNIDAD DE MUESTRA	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	m	VRC	PCI	CLASIFICACION
233.6	1	00+000	00+032	0.0	50	50	Regular
233.6	2	00+064	00+096	4.9	59	41	Regular
233.6	3	00+128	00+160	0.0	0	100	Excelente
233.6	4	00+192	00+224	0.0	0	100	Excelente
233.6	5	00+256	00+288	5.0	76	24	Muy Pobre
233.6	6	00+320	00+352	2.7	91	9	Colapsado
233.6	7	00+384	00+416	7.1	42	58	Bueno
233.6	8	00+448	00+480	5.9	66	34	Pobre
233.6	9	00+512	00+544	5.3	84	16	Muy Pobre
175.2	10	00+576	00+600	2.4	96	4	Colapsado

ANEXO 05

Plano de ubicación



ANEXO 08

Panel fotográfico de identificación de fallas

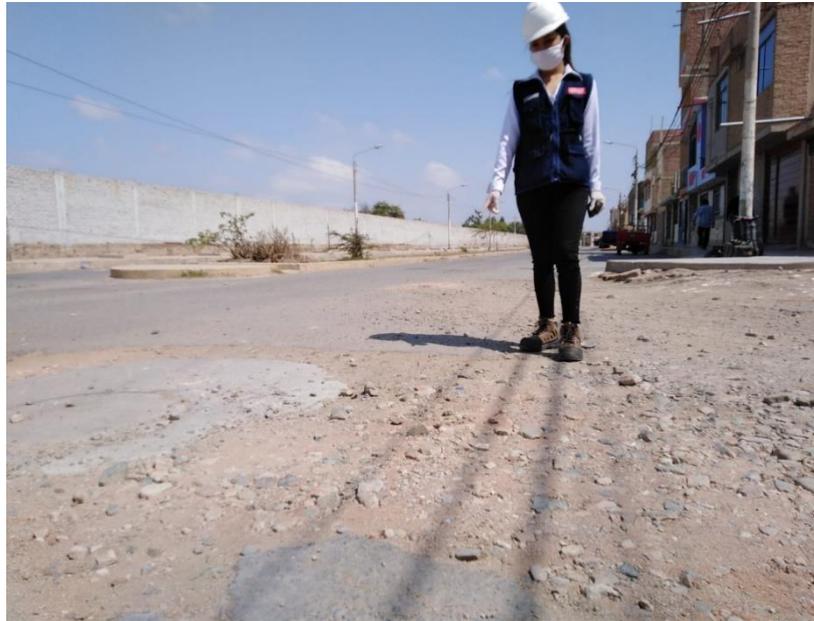


Figura 1. Identificación de hueco en calzada derecha

Elaboración: La autora.



Figura 2. Identificación de grietas longitudinal en calzada derecha

Elaboración: La autora.



Figura 3. Identificación de desprendimiento de agregados en calzada derecha

Elaboración: La autora.



Figura 4. Identificación de hueco en calzada izquierda

Elaboración: La autora.



Figura 5. Identificación de hueco en calzada izquierda.

Elaboración: La autora.



Figura 6. Identificación de piel de cocodrilo en calzada izquierda.

Elaboración: La autora.